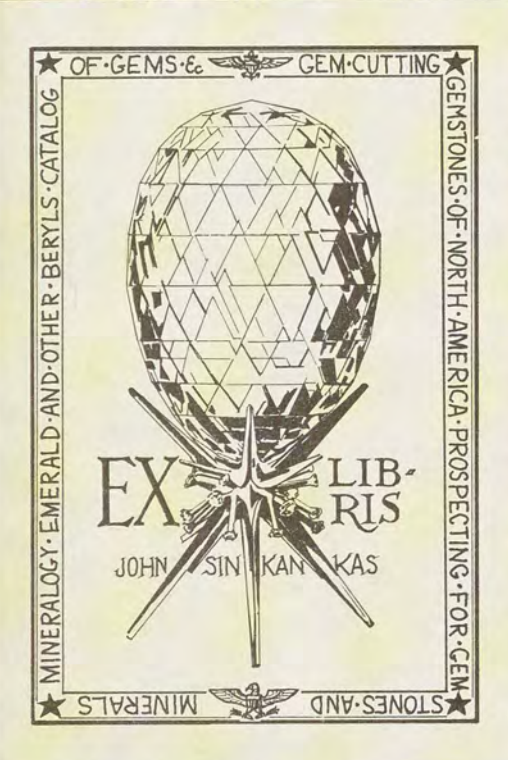
HUBERT

Les Matériaux de Construction

LES Verres et Cristaux le Diamant et les Gemmes

J.-B. Baillière et Fils


OF·GEMS·&c GEM·CUTTING
GEMSTONES·OF·NORTH·AMERICA·PROSPECTING·FOR·GEM
STONES·AND MINERALS
MINERALOGY·EMERALD·AND·OTHER·BERYLS·CATALOG
EX LIBRIS
JOHN SINKANKAS

CHIMIE AGRICOLE

L'Industrie agricole, par F. CONVERT, professeur à l'Institut agronomique. 1901. 1 vol. in-16 de 443 pages, cart.. 5 fr.

Climat, sol, population de la France.

Les céréales et la pomme de terre. — Le blé. — Pays exportateurs. — Législation. — La farine, le pain, le son. — Le seigle, l'avoine, l'orge, le maïs. — La pomme de terre, les légumineuses alimentaires.

Les plantes industrielles. — Les betteraves à sucre et l'industrie de la sucrerie. — La betterave de distillation et l'alcool. — Les plantes oléagineuses et textiles. — Le houblon, la chicorée à café, le tabac. — La viticulture. — Les vins étrangers, les vins de raisins secs. — L'olivier.

Le bétail et ses produits. — Les espèces chevaline, bovine, ovine, porcine. — Le lait, le beurre et le fromage. — La viande de boucherie. — Le commerce extérieur du bétail. — La laine et la soie. — La production agricole de la France.

Précis de Chimie agricole, par Edouard GAIN, maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy, 1895, 1 vol. in-16 de 436 pages, avec 93 figures, cartonné .... 5 fr.

Après avoir étudié le principe général de la nutrition des végétaux, l'auteur trace rapidement l'historique des différentes doctrines relatives à l'alimentation des plantes. Abordant ensuite la physiologie générale de la nutrition, il passe en revue les rapports de la plante avec le sol et l'atmosphère, les fonctions de nutrition, le chimisme dynamique et le développement des végétaux. La deuxième partie traite de la composition chimique des plantes. La troisième est consacrée à la fertilisation du sol par les engrais et les amendements. La quatrième comprend la chimie des produits agricoles.

Analyse et Essais des Matières agricoles, par A. VIVIER, directeur de la Station agronomique et du Laboratoire départemental de Melun. 1897, 1 vol. in-16 de 470 pages, avec 88 figures, cartonné .... 5 fr.

L'auteur indique les *méthodes générales de séparation et de dosage des éléments les plus importants dans les engrais, dans les sols et dans les plantes.*

Il étudie l'*analyse des engrais* et des *amendements*, et à propos des *engrais commerciaux*, des exigences des plantes, ainsi que des conditions d'emploi des engrais dans les différents sols et pour les différentes cultures. Vient ensuite l'*analyse du sol* et celle des *roches*. L'*analyse des eaux*, les méthodes générales applicables à l'analyse des matières végétales et animales. Enfin, M. Vivier indique l'*application de ces méthodes aux cas particuliers, fourrages, matières premières végétales des industries agricoles, produits et sous-produits de ces industries*, etc.

Le Pain et la Panification, *chimie et technologie de la boulangerie et de la meunerie*, par L. BOUTROUX, professeur de chimie à la Faculté des Sciences de Besançon, 1897, 1 vol. in-16 de 358 pages, avec 57 figures, cartonné........................ 5 fr.

Dans une première partie, M. Boutroux étudie la farine. La seconde partie est consacrée à la transformation de la farine en pain. Etude théorique de la fermentation panaire, opérations pratiques de la panification usuelle, procédés de panification employés en France ou à l'étranger. Composition chimique du pain et opérations par lesquelles le chimiste peut en apprécier la qualité ou y déceler les fraudes. Au point de vue de l'hygiène, valeur nutritive du pain en général et des diverses sortes de pain.

Le Tabac, culture et industrie, par Émile BOUANT, agrégé des Sciences physiques. 1901, 1 vol. in-16, 347 pages, avec 104 figures, cartonné.. 5 fr.

Historique. — Culture. — Technologie. — Matières premières. — Fabrication des scaferlatis. — Cigarettes. — Cigares. — De la poudre. — Des tabacs à mâcher. — Economie politique et hygiène.

CHIMIE MINÉRALE — CÉRAMIQUE

Les Produits chimiques employés en médecine, *chimie analytique et fabrication industrielle*, par A. TRILLAT. Introduction par P. SCHUTZENBERGER, de l'Institut. 1894, 1 vol. in-16 de 415 pages, avec 67 figures, cartonné .... 5 fr.

Quatre chapitres sont consacrés à la classification des *antiseptiques*, à leur constitution chimique, à leurs procédés de préparation et à la détermination de la valeur d'un produit médicinal. Vient ensuite une classification rationnelle des produits médicaux, dérivés de la *série grasse* et de la *série aromatique*. Pour chaque substance on trouve : la constitution chimique, les procédés de préparation, les propriétés physiques, chimiques et physiologiques et la forme sous laquelle elle est employée.

Le Pétrole, exploitation, raffinage, éclairage, chauffage, force motrice, par A RICHE, directeur des essais à la Monnaie et G. HALPHEN, chimiste du Ministère du commerce. 1896, 1 vol. in-16 de 484 pages, avec 114 figures, cartonné........................ 5 fr.

Gisements et méthode d'extraction et de raffinage, procédés suivis en Amérique, en Russie, en France et en Autriche-Hongrie, pour la séparation et la purification des essences, huiles lampantes, huiles lourdes, paraffines et vaselines.

Applications : éclairage et chauffage ; production d'énergie mécanique ; lubrification. Qualités des différentes huiles et méthodes d'essai.

Verres et Émaux, par L. COFFIGNAL, ingénieur des arts et manufactures. 1 vol. in-16 de 332 pages, avec 129 figures, cartonné.. 5 fr.

La première partie du livre de M. Coffignal est consacrée aux *Verres*. Composition, propriétés physiques et chimiques et analyse des verres, des fours de fusion, produits réfractaires et préparation des pâtes, procédés de façonnage du verre, produits spéciaux, et compositions vitrifiables : verres solubles, verres de Bohême, cristal, verres d'optique, décoration du verre.

La deuxième partie est consacrée aux *Émaux et glaçures*. Composition, matières premières et propriétés des glaçures, fabrication et pose des glaçures, emploi des émaux.

Technologie de la Céramique, par E.-S. AUSCHER, ingénieur des arts et manufactures. 1901, 1 vol. in-16, avec 93 figures, cartonné....................................... 5 fr.

Classification des poteries. — Argiles, feldspaths, kaolins, quartz, craie, pâtes et couvertes, outillage céramique, préparation des pâtes, façonnage des pièces, préparation des couvertes et émaux, émaillage, séchage et cuisson, encastage, enfournement, fours sans foyer, — à foyers, — à gazogènes, moufles, fours d'essais, décoration des poteries, décors de grand feu et au feu de moufle, colorants céramiques.

Les Industries céramiques, par E.-S. AUSCHER. 1901, 1 vol. in-16, avec 53 figures, cartonné................. 5 fr.

Histoire de la céramique. — Poteries non vernissées poreuses. — Terres cuites. — Briques. — Tuiles. — Tuyaux. — Jarres. — Cuviers. — Alcarazzas. — Pots à fleurs. — Pipes en terre. — Filtres. — Carreaux. — Poteries vernissées à pâte poreuse. — Poteries lustrées. — Faïences stannifères. — Majoliques. — Faïences à vernis transparents. — Couvertes. — Faïences fines. — Poteries vernissées à pâte non poreuse. — Grès. — Porcelaines. — Porcelaines dures. — Porcelaines de Sèvres. — Porcelaines ordinaires. — Porcelaines orientales. — Porcelaines tendres. — Poteries non vernissées à pâte non poreuse. — Biscuits.

DISTILLERIE — BRASSERIE — SUCRERIE

La Bière et l'Industrie de la Brasserie, par PAUL PETIT, professeur à la Faculté des Sciences, directeur de l'Ecole de brasserie de Nancy, 1895, 1 vol. in-16 de 420 pages, avec 74 figures, cartonné.. 5 fr.

Matières premières : Maltage. — Etude de l'eau, du houblon, de la poix — Brassage. Cuisson et houblonnage, refroidissement et oxygénation des moûts. — Fermentation · Maladies de la bière. — Contrôle de fabrication. — Consommation et valeur alimentaire de la bière. — Installation d'une brasserie. — Enseignement technique.

Chimie du Distillateur, *matières premières et produits de fabrication*, par P. GUICHARD, ancien chimiste de distillerie, 1895, 1 vol. in-16 de 408 pages, avec 75 figures, cartonné.... 5 fr.

Ce volume a pour objet l'étude chimique des matières premières, et des produits de fabrication de la distillerie. M. Guichard étudie successivement les éléments chimiques de la distillerie, leur composition et leur essai industriel.

Microbiologie du Distillateur, *ferments et fermentations*, par P. GUICHARD, 1895, 1 vol. in-16, de 392 pages, avec 106 figures et 38 tableaux, cartonné.......................... 5 fr.

Historique des fermentations; matières albuminoïdes; ferments solubles, diastases, zymases ou enzymes; ferments figurés et levures; fermentations; composition et analyse industrielle des matières fermentées, malt, moûts, drèches, etc. Tableaux de la force réelle, des spiritueux, du poids réel d'alcool pur, des richesses alcooliques, etc.

L'Industrie de la Distillation, *levures et alcools*, par P. GUICHARD, 1897, 1 vol. in-16 de 415 pages, avec 138 figures, cartonné.. 5 fr.

Fabrication des liquides sucrés par le malt et par les acides. — Fermentation de grains, pommes de terre, mélasses, etc. — Industrie de la levûre de brasserie, de distillerie et levure pure. — Fabrication de l'alcool; grains, pommes de terre, mélasses. — Distillation et purification de l'alcool. — Applications : levûres, alcools, résidus.

Placé pendant longtemps à la tête du laboratoire d'une fabrique de levure, M. Guichard a pu apprécier les besoins de cette grande industrie, et le traité qu'il publie aujourd'hui y donne satisfaction, en mettant à la portée des industriels, sous une forme simple, quoique complète, les travaux les plus récents des savants français et étrangers.

Le Sucre et l'Industrie sucrière, par PAUL HORSIN-DÉON, ingénieur-chimiste, 1895, 1 vol. in-16 de 495 pages, avec 83 figures, cartonné.................................. 5 fr.

Ce livre passe en revue tout le travai de la sucrerie, tant au point de vue pratique de l'usine, qu'au point de vue purement chimique du laboratoire; c'est un exposé au courant des plus récents perfectionnements. Voici le titre des différents chapitres :

La betterave et sa culture. — Travail de la betterave et extraction du jus par pression et par diffusion, travail du jus, des écumes et des jus troubles, filtration, évaporation cuite. — Appareils d'évaporation à effets multiples. — Turbinage. — Extraction du sucre de la mélasse. — Analyses. — Sucre de canne ou saccharose. — Glucose, lévulose et sucre interverti. — Analyse de la betterave, des jus, des écumes, des sucres, des mélasses, etc. — Le sucre de canne, culture et fabrication. — Raffinages des sucres.

Savons et Bougies, par JULIEN LEFÈVRE, agrégé des sciences physiques, professeur à l'École des sciences de Nantes, 1894, 1 vol. in-16 de 424 pages, avec 116 figures, cartonné .... 5 fr.

M. Lefèvre expose d'abord les notions générales sur les corps gras neutres.

Il traite ensuite de la savonnerie et décrit les matières premières, les procédés de fabrication, les falsifications et les modes d'essai. La seconde partie contient la fabrication des chandelles, (moulage des bougies stéariques, fabrication des bougies colorées, creuses, enroulées, allumettes-bougies, etc.). fabrication de la glycérine.

Dans les deux industries, l'auteur s'est appliqué à faire connaître les méthodes et les appareils les plus récents et les plus perfectionnés.

Couleurs et Vernis, par G. HALPHEN, chimiste au Ministère du commerce, 1894, 1 vol. in-16 de 388 pages, avec 29 figures, cartonné.. 5 fr.

Ce livre présente l'ensemble des connaissances générales relatives à la fabrication des couleurs et vernis, tant au point de vue technique que dans leurs rapports avec l'art, l'industrie et l'hygiène.

On trouvera réunis dans ce volume tous les renseignements qui peuvent guider l'artiste ou l'artisan dans le choix des substances qu'il veut employer et le fabricant dans les manipulations qu'entraîne leur préparation. Il a été suivi une marche uniforme à propos de chaque couleur: la synonymie, la composition chimique, la fabrication, les propriétés et les usages. L'auteur a pu recueillir auprès des industries un grand nombre de renseignements pratiques sur les procédés les plus employés.

Les Parfums artificiels, par EUG. CHARABOT, chimiste industriel, professeur d'analyse chimique à l'École commerciale de Paris, 1899, 1 vol. in-16 de 300 pages, avec 25 figures, cartonné 5 fr.

Les parfums synthétiques qui, incontestablement, présentent le plus d'intérêt au point de vue de leurs applications sont: le terpinéol, la vanilline, l'héliotropine, l'ionone, le musc artificiel. Ce sont eux qui ont droit au plus grand développement.

Toutefois l'auteur étudie en outre plusieurs principes naturels à composition définie (linalol, bornéol, safrol) qui servent de matières premières pour la préparation de substances odorantes.

Ce livre rendra service aux chimistes, aux industriels, aux experts.

Cuirs et Peaux, par H. VOINESSON DE LAVELINES, chimiste au Laboratoire municipal, 1894, 1 vol. in-16 de 451 pages, avec 88 figures, cartonné.. 5 fr.

M. Voinesson de Lavelines passe d'abord en revue les peaux employées dans l'industrie des cuirs et peaux, puis les produits chimiques usités en hongroirie et mégisserie, les végétaux tannants et les matières tinctoriales pour les peaux et la maroquinerie. Vient ensuite la préparation des peaux brutes pour cuirs forts, le tannage des cuirs forts et la fabrication des cuirs mous. Les chapitres suivants sont consacrés à l'industrie du corroyeur, qui donne aux peaux les qualités spéciales, nécessaires suivant les industries qui les emploient: cordonniers, bourreliers, selliers, carrossiers, relieurs, etc. L'art de vernir les cuirs, est décrit très complètement. Viennent ensuite la hongroirie, la mégisserie, la chamoiserie et la buffleterie. L'ouvrage se termine par la maroquinerie, l'impression et la teinture sur cuir, la parcheminerie et la ganterie.

L'industrie et le Commerce des Tissus, en France et dans les différents pays, par G. JOULIN, chimiste au Laboratoire municipal, 1895, 1 vol. in-16 de 346 pages, avec 76 fig., cartonné.. 5 fr.

Après avoir décrit les opérations préliminaires du tissage et les opérations spéciales pour étoffes façonnées, M. Joulin consacre des chapitres distincts au coton (filature et tissus de cotons, tissus unis, croisés, façonnés, velours, bonneterie, etc.) au lin, au jute, au chanvre, à la ramie, et à la laine (filature, travail de la laine à cardes et à peigne, draperie, reps, étamine, alpaga, barège, mérinos, velours, peluche, tapis, passementerie, vêtement, etc.).

L'Or, propriétés physiques et chimiques, gisements, extraction, applications, dosage, par L. WEILL, ingénieur des mines. Introduction par U. LE VERRIER, professeur de métallurgie au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'École des mines, 1896, 1 vol. in-16 de 420 pages, avec 67 figures, cartonné........................ 5 fr.

Propriétés physiques et chimiques ; dosage. Géologie ; minerais, gisement. Métallurgie ; voie sèche, amalgamation et lixiviation. Elaboration : alliages, frappe des monnaies. Orfèvrerie : argenture. Rôle économique : commerce, statistique, avenir.

L'Argent, géologie, métallurgie, rôle économique, par LOUIS DE LAUNAY, professeur à l'École des mines, 1896, 1 vol. in-16 de 382 pages, avec 80 figures, cartonné........................ 5 fr.

Propriétés physiques et chimiques. — Gisements : Gisements filoniens ; Gisements sédimentaires. — Alluvions aurifères. — Extraction. — Applications. — Orfèvrerie. — Médailles. — Monnaies. — Dosage. — Essai des minerais. — Essai des alliages.

Le Cuivre, par PAUL WEISS, 1893, 1 vol. in-16 de 344 pages, avec 86 figures, cartonné................................ 5 fr.

M. P. Weiss résume en un volume portatif toutes les données actuelles sur les gisements, la métallurgie et les applications du cuivre.

Dans une première partie, M. Weiss passe en revue l'origine, les gisements, les propriétés et les alliages du cuivre. Dans la deuxième partie, il passe en revue le grillage des minerais, la fabrication de la matte bronze, la transformation de la matte bronze en cuivre noir, l'affinage du cuivre brut et le traitement des minerais de cuivre par la voie humide.

La troisième partie traite des applications du cuivre, de son marché, de son emploi, de la fabrication et de l'emploi des planches de cuivre (chaudronnerie, etc.), de l'emploi du cuivre en électricité (tréfilerie, etc.), de la fonderie du cuivre et de ses alliages, enfin des bronzes et laitons.

L'Aluminium, par A. LEJEAL. Introduction par U. LE VERRIER, professeur à l'École des mines, 1894, 1 vol. in-16 de 357 pages, avec 36 figures, cartonné................................ 5 fr.

Le volume débute par un exposé historique et économique. Vient ensuite l'étude des propriétés physiques et chimiques de l'aluminium et de ses sels, l'étude des minerais et de la fabrication des produits aluminiques. Les chapitres suivants sont consacrés à la métallurgie (procédés chimiques, électrothermiques et électrolytiques), aux alliages, aux emplois de l'aluminium, à l'analyse et à l'essai des produits aluminiques, enfin au mode de travail et aux usages de l'aluminium.

Le volume se termine par l'histoire des autres métaux terreux et alcalino-terreux : manganèse, baryum et strontium, calcium et magnésium.

Les Minéraux utiles et l'Exploitation des Mines, par KNAB, répétiteur à l'École centrale, 1894, 1 vol. in-16 de 392 pages, avec 76 figures, cartonné................ 5 fr.

Dans une première partie, *Gîte des minéraux utiles*, M. Knab expose les faits géologiques qui mènent à la connaissance du gisement des minéraux. Il décrit les gîtes minéraux, les combustibles minéraux, le sel gemme, les minerais, les mines de la France et des colonies et expose les principes qui doivent guider pour la reconnaissance des mines.

La seconde partie, *Exploitation des minéraux utiles*, traite de l'attaque de la masse terrestre (*abatage, voies de communication, exploitation*), et des transports de toute nature effectués dans le sein de la terre (*épuisement, aérage, extraction*). *L'éclairage*, la *descente des hommes*, les *accidents des mines* forment sous le titre de *Services divers* un groupe à part. Enfin, sous le nom de *Préparation mécanique des minerais*, l'auteur suit les minerais au-delà de l'instant où ils ont été amenés au jour, en vue de les livrer aux usines dans un état mieux approprié aux opérations à subir.

PHYSIQUE ET ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLES

Précis de Physique industrielle, par H. PÉCHEUX, professeur à l'École pratique de commerce et d'industrie de Limoges. Introduction par M. PAUL JACQUEMART, inspecteur général de l'enseignement technique, 1899, 1 vol. in-16 de 570 pages, avec 646 figures, cartonné.. 6 fr.

Le livre de M. Pécheux, répondant exactement au programme de physique des Écoles pratiques de commerce et d'industrie, est appelé à rendre d'utiles services aux élèves des Écoles pratiques et à tous les jeunes gens qui se destinent à l'industrie et qui doivent se familiariser avec les grands phénomènes physiques qu'ils sont exposés à rencontrer, dans tous les ateliers, en même temps qu'à toute une catégorie de jeunes gens mis dans l'impossibilité de suivre leur enseignement.

Traité d'Électricité industrielle, par R. BUSQUET, professeur à l'École industrielle de Lyon, 1900, 2 vol. in-16 de 500 pages chacun, avec 400 figures, cartonné................ 12 fr.

Il n'existait pas encore un véritable livre d'initiation qui permît d'aborder les questions d'électricité industrielle sans avoir fait au préalable des études spéciales. C'est cette lacune que l'auteur s'est proposé de combler voulant exposer simplement et sans le secours des hautes mathématiques les phénomènes électriques, sans rien sacrifier toutefois des principes exacts qui servent de base à l'électricité industrielle.

Le Monteur électricien, par E. BARNI, ingénieur-électricien et A. MONTPELLIER, rédacteur en chef de *l'Electricien*. 1900, 1 vol. in-16 de 500 pages, avec 120 figures, cartonné.......... 5 fr.

Dynamos. — Lampes à arc et à incandescence. — Appareils auxiliaires. — Lignes aériennes et souterraines. — Canalisations intérieures. — Calculs et essais des conducteurs. — Accumulateurs. — Courant alternatif et courants polyphasés. — Distribution de l'énergie électrique. — Moteurs.

La Galvanoplastie, *le nickelage, l'argenture, la dorure, l'électrométallurgie et les applications chimiques de l'électrolyse*, par E. BOUANT, agrégé des sciences physiques, 1894, 1 vol. in-16 de 400 pages, avec 52 figures, cartonné.......................... 5 fr.

I. *Notions générales sur l'électrolyse* : Unités pratiques de mesure. Sources d'électricité employées dans les opérations électrolytiques. Piles, accumulateurs, machines électrolytiques.—II. *Galvanoplastie*. Moulage. Disposition des bains, formation du dépôt, électrotypie. — III, *Electrochimie* : Décapage, cuivrage, argenture, dorure. Dépôt de divers métaux, coloration et ornementation par les dépôts métalliques. — IV. *Electrométallurgie*. — V. *Applications chimiques de l'électrolyse*: Épuration des eaux, désinfection, blanchiment, fabrication du chlore, tannage, préparation de l'oxygène, etc.

La Traction mécanique et les Voitures automobiles, par G. LEROUX et A. REVEL, ingénieurs du service de la traction mécanique à la Compagnie générale des Omnibus. 1900, 1 vol. in-16 de 394 pages, avec 108 figures, cartonné. 5 fr.

Les auteurs ont d'abord consacré un chapitre spécial à l'examen des organes qui sont communs à tous les systèmes. Puis ils passent en revue les TRAMWAYS A VAPEUR, A AIR COMPRIMÉ et A GAZ, les TRAMWAYS ÉLECTRIQUES et les TRAMWAYS FUNICULAIRES. Les trois derniers chapitres sont consacrés aux VOITURES AUTOMOBILES, *voitures à vapeur*, *voitures à essence de pétrole et voitures électriques*, et à la description des principaux *types d'automobiles*.

ENCYCLOPÉDIE TECHNOLOGIQUE ET COMMERCIALE

4

LES
Verres et Cristaux
le Diamant et les Gemmes

ENCYCLOPÉDIE TECHNOLOGIQUE ET COMMERCIALE

Par E. D'HUBERT

DOCTEUR ÈS SCIENCES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE COMMERCE DE PARIS
EXAMINATEUR A L'INSTITUT COMMERCIAL

Collection nouvelle en 24 vol. in-16 de 100 p. avec fig., cart. à 1 fr. 50

Souscription aux 24 volumes.................. **32** fr.

I. — LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET D'ORNEMENTATION

1. — Le bois et le liège.
2. — Les pierres, les marbres, les ardoises, le plâtre.
3. — Les chaux et ciments, les produits céramiques.
4. — Les verres et cristaux, le diamant et les gemmes.

II. — LA MÉTALLURGIE

5. — Les minerais, les métaux, les alliages.
6. — Les fers, fontes et aciers.
7. — Les métaux usuels (cuivre, zinc, étain, plomb, nickel, aluminium).
8. — Les métaux précieux (mercure, argent, or, platine).

III. — LA GRANDE INDUSTRIE CHIMIQUE

9. — Les matières premières (eau, glace, combustibles).
10. — Les matières éclairantes (pétrole, gaz d'éclairage, acétylène).
11. — Le sel marin, les soudes, les potasses.
12. — Les acides chlorhydrique, sulfurique, azotique. L'eau de Javel.

IV. — LES PRODUITS CHIMIQUES

13. — L'oxygène, les acides, l'ammoniaque, les aluns, les vitriols.
14. — Le salpêtre, les explosifs, les phosphates et les engrais, le phosphore et les allumettes.
15. — Les couleurs, les matières colorantes.
16. — Les parfums, les médicaments, les produits photographiques.

V. — LES PRODUITS INDUSTRIELS ANIMAUX ET VÉGÉTAUX

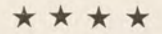
17. — Les corps gras, les savons et bougies.
18. — Le cuir, les os, l'ivoire, l'écaille, les perles.
19. — Les textiles, les tissus, le papier.
20. — Le caoutchouc, la gutta, le celluloïd, les résines et les vernis.

VI. — LES PRODUITS ALIMENTAIRES

21. — Les aliments animaux (viande, œufs, lait, fromages).
22. — Les aliments végétaux (herbages, fruits, fécules, pain).
23. — Les boissons (vin, bière, vinaigre, alcools, liqueurs).
24. — Les sucres, le cacao, le café, le thé.

6984-03. — CORBEIL. Imprimerie ÉD. CRÉTÉ.

LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION



LES
Verres et Cristaux
le Diamant et les Gemmes

PAR

E. D'HUBERT

DOCTEUR ÈS SCIENCES
PROFESSEUR A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE COMMERCE DE PARIS
EXAMINATEUR A L'INSTITUT COMMERCIAL

Avec 40 figures

Les Verres et Cristaux

DÉFINITION DES VERRES. — PRÉPARATION ET TRAVAIL DU VERRE
STATISTIQUE DES VERRES ET CRISTAUX.

Le Diamant et les Gemmes

GÉNÉRALITÉS. — DIAMANT. — PIERRES ARTIFICIELLES.
COMMERCE ET STATISTIQUE.

PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
19, rue Hautefeuille, près du Boulevard Saint-Germain

1903

INTRODUCTION

Les *verres* sont, de toutes les matières industrielles, celles qui se présentent sous les états les plus divers, celles qui sont employées aux usages les plus variés. Nous trouvons des verres solubles, employés à la conservation des pierres et à la confection de certaines peintures ; des verres malléables, dans lesquels un clou s'enfonce de la même manière que dans du plomb ; des verres d'une belle transparence, dont on fait des vitres, des glaces, des vases à boire; des verres colorés, dont on fait des bouteilles ; des verres grossiers, mais assez durs pour être employés comme dalles, comme briques, comme tuiles. Nous retrouvons le verre sous la forme d'une pierre blanchâtre plus dure que le granite; enfin, le verre est encore la matière première de ces belles imitations des pierres précieuses, les *cristaux*, qui rappellent le cristal de roche, et les *strass* diversement colorés, qui rappellent les plus brillantes pierres de joaillerie.

On comprend, à cette simple énumération, quel est l'intérêt puissant qui s'attache à la connaissance des industries du verre et l'on est tout surpris de constater la place, plus que secondaire, qu'il occupait dans la liste des matières ouvrées par les Anciens. Mais, actuellement, après un siècle de grands progrès industriels, les verreries ont une importance capitale, particulièrement pour la France qui, longtemps en retard sur les concurrents étrangers, Vénitiens, Bohémiens, Belges et Anglais, a su mettre ses industries verrières à la hauteur des derniers progrès. Les verreries déversent en France une somme de plus de 75 millions de francs de salaires annuels, et prennent ainsi une part fort importante à sa fortune et à sa prospérité.

L'étude des différentes sortes de verres, difficile en raison du grand nombre d'aspects d'une matière dont la seule propriété toujours présente est l'état vitreux, offre une autre difficulté due à la faible contribution apportée jusqu'ici par la science pure à la chimie du verre. Dans les industries verrières, si on en excepte quelques-unes, les données empiriques sont presque les seules employées ; et si la science, introduite en verrerie, lui a fait faire de grands progrès durant ces dernières années, on est en droit d'espérer que des recherches méthodiquement poursuivies auraient d'importantes conséquences.

Nous diviserons l'étude des verres en trois chapitres, traitant respectivement : pour le premier, de la définition, de la composition, de la classification et des propriétés des verres ; pour le deuxième, de la préparation des matières vitrifiables dans les fours ; enfin, pour le troisième, du travail du verre en vue de l'obtention des objets principaux, glaces, vitres, bouteilles, gobelets, etc. Après quelques indications sur la décoration des verres, cette première partie sera complétée par l'examen de quelques données statistiques.

Dans une deuxième partie, nous passerons en revue les matières naturelles, qui présentent un bel éclat, qui sont comme des verres d'une qualité exceptionnelle, fournis par la nature, et que l'on désigne sous le nom de *gemmes* ou de *pierres précieuses*. Cette étude des pierres naturelles sera suivie de celle des pierres artificielles, imitées. Enfin, après avoir relaté les beaux travaux de M. Moissan sur la reproduction artificielle du diamant, nous traiterons du carborundum, cette matière si dure, inventée en Amérique, et qui tend à prendre la première place dans la liste des matières usantes et polissantes.

LES VERRES ET CRISTAUX

DÉFINITION DES VERRES

Mettons dans un creuset réfractaire un mélange susceptible de donner par fusion un verre industriel, soit un mélange homogène de sable blanc (silice), de poudre de calcaire (carbonate de calcium) et de carbonate de soude. Sous l'influence de la chaleur, la poudre, qui est mauvaise conductrice, s'échauffe et commence à fondre à la température du rouge (600 degrés environ). La fusion des fragments est irrégulière, et les premières parties fondues agglomèrent les autres; bientôt, la température s'élevant, la masse entière devient visqueuse, tout en gardant son opacité. L'opération ainsi faite est un *frittage*, et le résultat une *fritte*. Élevons progressivement la température; la masse, de moins en moins visqueuse, devient limpide et à peu près transparente; l'opération est une *fonte*, et le résultat un *verre*. Élevons toujours la température; la masse laisse dégager des bulles de gaz, air et gaz carbonique inclus dans la poudre employée ou contenus dans les carbonates à l'état combiné; par suite, le verre brut se purifie et acquiert une belle transparence; l'opération est l'*affinage* et le résultat un *verre affiné*.

Les propriétés du verre produit seront indiquées par les traitements auxquels on peut le soumettre. Refroidissons très rapidement le culot de verre, il se fendillera et donnera une masse sans cohésion, inutilisable. Au contraire, fermons les ouvertures du four, et laissons le refroidissement gagner

lentement toute la masse ; l'opération est la *braise* ou *raffinage* ; le verre liquide repassera par tous les états de viscosité que nous avons observés lors de la fonte, il conservera sa transparence et ne deviendra solide qu'à une température bien inférieure à celle où il était un liquide parfait. Nous observons là une des propriétés les plus importantes du verre, celle de posséder l'état pâteux dans un intervalle étendu de l'échelle thermométrique, celle de passer de l'état liquide à l'état solide en passant par les états intermédiaires de consistance, sans même que l'on puisse préciser le moment où le verre cesse d'être liquide, aussi bien que le moment où il est solide parfait. On nomme *palier de fusibilité* l'intervalle des températures où le verre est pâteux et pendant lequel le refroidissement est graduel. A cet état de viscosité, le verre possède toutes les propriétés des substances plastiques, il est susceptible d'être modelé, d'être soudé à lui-même, et peut adhérer à certains corps, le fer rouge par exemple ; ce sont ces propriétés que le verrier utilise pour le travail du verre, qui doit se faire dans l'étendue du palier de fusibilité, et qui peut nécessiter des réchauffements en cours de travail, pour conserver la plasticité nécessaire. Le verre étant encore malléable refroidissons-le brusquement, et nous obtenons le *verre trempé*, très résistant au choc et à la flexion ; si, au contraire, le refroidissement est très lent et très régulier, nous obtenons le *verre recuit* ou verre ordinaire, résistant et élastique.

Le verre solide est un corps amorphe, transparent, sonore ; sa cassure est brillante et présente sur une grande surface des lignes courbes, ondulées, caractéristiques, qui l'ont fait nommer *cassure conchoïdale* ou *cassure vitreuse*. Remarquons que la transparence du verre est une propriété variable ; elle n'est jamais parfaite, c'est-à-dire que la lumière qui a traversé une lame de verre subit toujours une absorption partielle, mais elle peut être très imparfaite et aller graduellement à l'opacité ; c'est ainsi que l'introduction de certaines matières dans le verre le transforment en milieu trouble, simplement translucide, et que l'augmentation des matières troublantes peut donner l'opacité. Le phénomène rappelle celui que l'on obtient en mettant dans un liquide transparent, l'eau par

exemple, de très fines parcelles de corps opaques en suspension; le milieu qui était transparent devient peu à peu translucide, puis opaque. Une autre propriété du verre est son inaltérabilité relative, lui permettant de résister assez longtemps aux agents atmosphériques, aux matières chimiques, même à la plupart des acides forts.

Dévitrification. — Le verre amolli, maintenu longtemps à une température inférieure à celle de sa fusion, perd sa transparence, devient opaque et laisse voir une structure cristalline, qui, commençant en quelques points, gagne bientôt toute la masse, et lui donne l'aspect de la porcelaine. La matière dure que l'on obtient ainsi est nommée *porcelaine de Réaumur*, parce qu'elle fut étudiée pour la première fois par Réaumur, en 1727. La dureté de cette matière a permis de constituer avec elle des matériaux factices qui ont reçu le nom de *pierre de verre*.

Ce simple exposé suffit à montrer les propriétés si curieuses du verre et à laisser prévoir les nombreuses applications d'un produit dont les méthodes de travail sont très variées.

COMPOSITION CHIMIQUE DES VERRES

Le mélange pour verre que nous avons employé pour définir le verre, est celui que l'industrie emploie pour le verre à vitres, mais beaucoup d'autres mélanges donnent le même résultat, ou des résultats semblables, constituant des verres, au sens général du mot. Dans un mélange pour verre, nous distinguerons plusieurs types de matières, les unes dites *vitrifiantes*, les autres dites *fondantes*, et les *matières colorantes*.

Vitrifiants. — Trois matières peuvent être employées pour former les verres : la *silice*, l'*acide borique* et l'*acide phosphorique*; de sorte que les verres sont des silicates, des borates ou des phosphates de diverses matières basiques, les fondants. Dans la grande industrie verrière, la silice est seule employée, mais on emploie l'acide borique, uni à la silice, dans la verrerie d'optique et dans la préparation des émaux ; quand à l'acide phosphorique, il donne des verres de chaux et soude suffisamment malléables pour permettre de souffler des

cornues, et celles-ci sont inattaquables par l'acide fluorhydrique, acide qui attaque les autres verres (M. Sidot). Remarquons que les verres formés avec les divers vitrifiants peuvent se mélanger en toute proportion et entrer dans la composition d'une même masse vitreuse.

La silice est l'oxyde de silicium, correspondant à la formule SiO^2, et possédant la fonction acide en présence des bases, avec lesquelles elle donne des silicates. Elle est très répandue dans la nature, sous la forme de silice cristallisée, *quartz* ou *cristal de roche*, sous la forme colloïde, *opale*, ou sous des formes intermédiaires, *calcédoine*, *agate*, *cornaline*, *silex pyromaque* (pierre à feu); la *tridymite* est une variété de silice, dont la densité (2,3) est plus faible que celle du quartz, (2,6), sans être cependant égale à celle de la silice fondue, (2,2). On trouve ordinairement la silice sous forme de sable ou sous celle de cailloux, résultant de la désagrégation de roches dures contenant les formes précédentes et spécialement le quartz; et on rencontre de nombreux composés siliceux sous la forme de feldspaths (1).

L'examen des variétés naturelles de silice nous conduit à reconnaître les divers états de la matière, depuis l'état amorphe, jusqu'à l'état cristallisé, et nous montre toute une série de *verres naturels*. L'opale, colloïde, incapable de cristalliser, a un éclat résineux ou gras, et une cassure conchoïdale (comme le verre); l'opale noble a des reflets irisés (comme les verres dits *opaline*); les divers quartz sont des associations de fibres de quartzine, c'est-à-dire de véritables cristaux en voie de formation, présentant l'éclat vitreux, une transparence et une coloration variables; les intermédiaires existent entre l'opale colloïde et les fibres de quartzine, et sont représentés par les fibres allongées de la calcédoine, dont a cristallisation confuse donne le silex pyromaque, tandis que les mélanges de calcédoine et de quartzine se nomment l'agate et la cornalline; de là, et par le quartz commun laiteux, où la cristallisation est confuse, nous arrivons au quartz hyalin incolore et complètement

(1) Voy. *Les Pierres*, p. 30.

cristallin. La tridymite est nettement cristallisée, dans le système orthorhombique, et ses cristaux sont associés en lamelles minces à contours hexagonaux, à éclat vitreux. Dans la nature, l'association des bases à la silice est très fréquemment réalisée et fournit les nombreux minéraux nommés *feldspaths*, feldspathoïdes, micas, amphiboles, pyroxènes, péridots, etc. Tous ces minéraux sont cristallisés et correspondent à des combinaisons définies s'éloignant ainsi des verres.

L'acide borique est l'oxyde de bore, correspondant à la formule B^2O^3 ; comme la silice, il présente à un haut degré la propriété de dissoudre les oxydes métalliques, avec lesquels il se comporte comme un acide, en donnant des borates ; dans la nature, on le rencontre à l'état libre, ou combiné aux bases sous forme de borates ou silico-borates de soude, magnésie ou chaux.

Fondants. — La silice fond au chalumeau oxhydrique, vers 1000 degrés, en un verre limpide, dont la densité est 2,2, mais on peut abaisser de beaucoup son point de fusion et créer le palier de fusibilité qui caractérise les verres en lui ajoutant des matières dites fondantes, et dont les principales sont des bases alcalines ou alcalino-terreuses.

Les alcalis, *potasse* et *soude*, sont indispensables à la vitrification, mais ne peuvent être employés seuls, parce que les silicates qu'ils donnent sont trop facilement fusibles, et sont solubles : ce sont les *verres solubles de Fuchs*. Ces deux alcalis agissent de la même manière, augmentant la fusibilité des verres, accroissant leur palier de fusibilité, et par suite facilitant le travail ; le choix entre la potasse et la soude est déterminé par des considérations de prix, la potasse étant préférée pour les verres ayant de l'éclat, tels que les verres de Bohême. La *lithine*, qui est un alcali comparable aux précédents, peut aussi être employée.

Les alcalino-terreux : *chaux*, *baryte*, *strontiane*, donnent des silicates ayant une tendance à la cristallisation, et ne peuvent être employés seuls ; mais leur association au silicate alcalin donne un bon verre, dont le point de fusion est peu modifié, mais dont la liquidité est augmentée, tandis que le palier de

fusibilité est raccourci. La chaux est, de ces trois matières, celle qu'on emploie le plus; son excès dans un verre tend à la formation de cristaux de wollastonite (CaO,SiO^2) et à la dévitrification qui rend le verre *galeux*.

La *magnésie* est souvent ajoutée aux verres bon marché, trop calcaires, et par suite peu alcalins, pour corriger la gale. L'*oxyde de thallium* donne des verres spéciaux, lourds et très réfringents. L'*oxyde de zinc* peut remplacer la chaux et donner un bon verre d'optique.

L'*oxyde de plomb* entre dans la composition de verres spéciaux, qualifiés de *cristal* : il donne un verre lourd et réfringent.

Un grand nombre d'autres matières peuvent être introduites dans les verres et s'ajouter à quelques-unes des précédentes (1); ainsi, on peut fabriquer un verre de chaux et d'alumine (matière de l'argile). Le spath fluor, ou fluorure de de calcium (CaF^2), donne un verre opale ; la cryolithe, fluorure double d'aluminium et de sodium, donne un verre opaque, comme la porcelaine.

Colorants. — Les matériaux que nous avons nommés, employés à l'état pur, donnent des verres incolores, ou faiblement colorés par des subtances accidentellement introduites pendant la préparation ; nous étudierons la décoloration des verres impurs pour la production des compositions dites *verres blancs*, mais nous examinerons de suite la production des verres colorés. Les colorations sont produites par de nombreuses substances métalliques, qui se dissolvent dans le verre, et y existent à un état qu'il est très difficile de définir ; on admet souvent que le métal est à l'état d'oxyde, ou à l'état de silicate, quelquefois même à l'état métallique. L'*aventurine de chrome* contient des paillettes cristallines vertes d'oxyde de chrome. Les verres contenant une notable proportion d'acide borique, constituent plutôt des émaux.

L'*oxyde de fer*, très répandu dans les mélanges pour verres, est présent dans la plupart des verres industriels, auxquels il

(1) On emploie aussi comme fondants l'arsenic et le régule d'antimoine.

communique des teintes variées suivant son état; il donne les tons jaune, jaune-brun, et vert, si fréquents; en outre, les tons rouge orangé, pourpre, bleu, et même noir; ces colorations sont dues à des degrés divers d'oxydation.

Le *bioxyde de manganèse*, qui est un décolorant, peut, en quantité suffisante, donner les tons rouge vineux, violet et noir.

L'*argent*, l'*or* et le *cuivre* se dissolvent en petite quantité dans les verres et les colorent. Un kilogramme de verre dissout près d'un gramme d'argent et se colore en jaune ou en orangé ; tandis que vingt milligrammes d'or suffisent à donner le *verre rubis d'or* ; et cinq grammes de cuivre donnent le *verre rubis de cuivre*. Ces deux couleurs sont des couleurs de recuit, qui se développent quand on chauffe le verre, la dissolution du métal et le refroidissement brusque du verre n'ayant pas développé de teinte.

Le *protoxyde de cobalt* donne un bleu superbe avec les verres à la potasse, et un violet bleu avec les verres à la soude.

Des colorations se forment encore dans les verres par des réactions entre ses divers composants, par exemple par la réduction en sulfures des sulfates (sulfate de soude) présents en très petite quantité; on obtient ainsi des tons jaunes, noirs, et avec les polysulfures alcalins, des tons rouges.

Nature des verres. — A quel état sont les matières, vitrifiantes, fondantes, colorantes, que contiennent les verres. Telle est la question que nous devons maintenant examiner.

Malgré les travaux importants relatifs à ce sujet, dus surtout à Dumas, Pelouze, Benrath, Berthier, la réponse ne peut être donnée. Les verres sont-ils des *combinaisons définies*, vérifiant la loi de Proust, comme l'ont pensé certains auteurs, et peut-on donner une formule d'un verre; évidemment non, puisque un changement des proportions conserve au verre sa nature, et ne modifie que progressivement ses propriétés. Les verres sont-ils des mélanges de combinaisons, souvent nombreuses mais définies séparément; rien ne le fait supposer, et ce n'est que pour satisfaire l'esprit que l'on formule des silicates pouvant exister dans un verre. Cependant, il peut se

faire des cristallisations dans les verres et celles-ci indiquent des composés définis; ainsi, la wollastonite des verres galeux est un silicate calcaire, (SiO^3Ca); ainsi, les paillettes cristallines vertes et brillantes de l'*aventurine de chrome* (de Pelouze) sont formées d'oxyde de chrome.

La caractéristique d'un verre est de conserver l'état amorphe, avec une consistance variant du liquide à la pâte et au solide; ceci indique la continuité dans les propriétés mécaniques, et laisse prévoir la même continuité dans les autres propriétés. Nous pouvons donc dire *qu'un verre est un mélange amorphe solide*. Or les propriétés d'un mélange dépendent des corps mélangés (combinaisons ou corps simples) et de la manière dont ces corps sont mélangés, en particulier de la quantité de chaleur absorbée lors de la formation du mélange. Ces questions sont posées et non résolues, et il faut nous contenter de considérer les verres comme des mélanges, c'est-à-dire de véritables dissolutions fluides, qui deviennent par refroidissement des *dissolutions solides*.

S'il n'existe pas de formule d'un verre, on peut cependant fixer, d'après les recherches empiriques, les limites de composition d'un bon verre. Suivant Benrath, un *verre normal* doit contenir une proportion de silice comprise entre deux fois et trois fois celle des fondants; en particulier, la proportion 2,5 de silice pour 1 de fondant serait excellente.

Les formules de Benrath sont :

Pour le verre à vitres et à glaces : $(1/2\ Na^2O,\ 1/2\ CaO),\ 2,5\ SiO^2$;
Pour le verre de Bohême : $(1/2\ K^2O,\ 1/2\ CaO),\ 2,5\ SiO^2$;
Et pour le cristal : $(1/2\ K^2O,\ 1/2\ PbO),\ 2,5\ SiO^2$.

Dans ces formules, les fondants indiqués peuvent être remplacés par des quantités équivalentes d'autres matières choisies parmi celles que nous avons énumérées plus haut. Les écarts de composition diminueraient, d'après l'auteur, la valeur du verre.

Remarquons que les verres sont très sensibles à de faibles variations de composition et que leurs propriétés changent assez vite, même pour une variation de un centième dans la

teneur de l'un des éléments constituants. Un bon ouvrier verrier apprécie, au travail, une variation de un centième de silice.

Fusibilité des verres. — Des travaux de quelques savants, et particulièrement de Berthier, résulte un ensemble de remarques qui sont des guides sûrs dans le choix des matières à employer, et dans celui de leurs proportions. Deux principales qualités sont exigées pour les masses à vitrifier, une fusibilité déterminée, et une tendance nulle à la dévitrification.

La fusibilité d'un verre dépend de la proportion de silice, toute augmentation de cette proportion retardant la fusion, et donnant par dévitrification des *verres zonés* ou *cordés*. La fusibilité dépend encore de la nature des fondants, et de leur nombre ; elle augmente avec ce nombre. Pour des quantités équivalentes de fondants, le point de fusion s'élève quand on passe de l'un des corps au suivant, dans la liste : potasse, soude, baryte, chaux, magnésie, alumine (1) ; l'oxyde de plomb est aussi un excellent fondant, et il en est de même de quelques oxydes métalliques employés comme colorants, tels que l'oxyde de fer, de cuivre et de manganèse. Ces indications suffisent pour montrer que l'on obtiendra un verre très fusible au moyen des alcalis, ou simplement en augmentant le nombre des bases, ce qui peut résulter de l'emploi de matières premières impures ; tandis que l'on obtiendra un verre difficile à fondre en diminuant la proportion d'alcali et en ajoutant de l'alumine ; à ce point de vue, le silicate simple d'alumine est un verre des plus réfractaires et, comme matière constituante de l'argile, sert à confectionner les creusets ; il peut être considéré comme le terme extrême de la série des verres, qui commence au verre soluble de Fuchs, silicate simple de potasse ou de soude.

La tendance des verres à la dévitrification peut être due à des causes diverses, parmi lesquelles l'excès de silice, comme

(1) L'abaissement du point de fusion est, pour une catégorie de fondants, en rapport avec le poids atomique du fondant, ainsi que le montre la liste suivante des poids atomiques : potassium, 39 ; sodium, 23 ; baryum, 137 ; calcium, 40 ; magnésium, 24 ; aluminium, 27 ; plomb, 207.

il a été dit plus haut, ou l'excès de l'un des fondants, particulièrement de la chaux. Cette dévitrification paraît due à la cristallisation d'un ou de plusieurs silicates, au sein du verre, avec formation de cristaux de wollastonite, ou de cristaux analogues aux feldspaths naturels.

CLASSIFICATION DES VERRES

Les verres industriels sont très nombreux, et pour les classer, il faut tenir compte de leur composition, de leur mode de fabrication, et aussi de leur destination.

Au point de vue de leur composition, et en mettant les verres solubles à part, on peut rapporter les verres à trois types : les *verres ordinaires*, blancs, contenant silice, soude et chaux; les *verres* dits *de Bohême*, contenant silice, potasse et chaux; enfin, les verres à base de plomb, nommés *cristaux*, et contenant silice, potasse ou soude, et oxyde de plomb. Dans chacune de ces catégories, on peut faire des divisions secondaires, en tenant compte des qualités particulières aux différents verres, et de leur emploi.

Verres à base de soude et de chaux. — On distingue : le *verre à bouteilles;* le *verre blanc*, pour la gobeleterie, le flaconnage, les vases de laboratoire, les verres de montre, la fantaisie; le *verre à vitres* (1); le *verre à glaces* ; et enfin le verre employé dans la construction, tels que conduites d'eau, briques de verre, verre armé, pierre de verre.

Verres à base de potasse et de chaux. — Ces verres, dits *verres de Bohême*, sont employés principalement pour la gobeleterie et le flaconnage.

Verres à base de plomb. — On distingue : le *cristal*, employé aux mêmes usages que le verre blanc et le verre de Bohême; le *flint-glass* (2), qui est un verre pour l'optique; le *strass*,

(1) Le verre à vitres fut d'abord fabriqué en plats ou plateaux, nommés *mondglass* (verre lune) en Allemagne et *crown-glass* (verre en couronne) en Angleterre. Le nom de *crown-glass* a été conservé pour désigner des verres d'optique contenant peu ou pas de plomb (Voy. p. 61).

(2) Le mot anglais *flint-glass* veut dire verre de silex, verre de caillou; il correspond au mot allemand *Kieselglass*.

employé pour imiter les pierres précieuses, et enfin l'*émail*, qui est un verre rendu opaque par l'oxyde d'étain.

Les quelques indications nécessaires à la connaissance de la composition chimique des différents verres sont consignées dans le tableau suivant dont les chiffres sont des moyennes.

Nature du verre.	Silice.	Alcalis.	Alcalino-ferreux.	Alumine, fer et manganèse	Oxyde de plomb.
Verre à bouteilles.	60-70	Potasse et soude.. 6-15	Chaux... Magnésie. Baryte... 8-30	2-5	
Verre blanc...	70	Potasse et soude.. 18	Chaux .. 10	2	
Verre à vitres....	72	Soude.... 14	Chaux... 13	1	
Verre à glaces...	74	Soude.... 15	Chaux... 9	2	
Verre de Bohême..	74	Potasse.. 16	Chaux... 10		
Cristal (Baccarat).	50	Potasse.. 10 Soude.... 1		1	38
Flint-Glass....	43	Potasse.. 12	Chaux... Alumine. Fer...... 2		43
Strass....	38	Potasse.. 8	Chaux... Alumine. Fer...... 1		53
Émail....	31	Potasse.. 9	Oxyde d'étain. 10		50

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES VERRES

Les propriétés des verres sont intéressantes à connaître, au double point de vue de leur travail et des usages auxquels on les destine.

Dureté. — Les verres sont assez durs, et ne sont rayés que par l'acier trempé, le quartz (cristal de roche ou silice), la topaze, le corindon (émeri) et le diamant. Le degré de dureté varie d'un verre à l'autre et augmente avec la proportion de silice, tandis que l'addition d'oxyde de plomb (cristal) la diminue. L'opération de la trempe augmente notablement la résistance d'un verre à l'usure et à l'écrasement (Voy. p. 22).

Élasticité. — Le verre est peu élastique, quand on le considère en gros fragments. Les vases de verre peuvent supporter de grandes pressions, et subissent momentanément une augmentation de volume, qui peut atteindre 1 centimètre cube par litre pour une pression de 12 atmosphères (1) ; à la fin de l'expérience, le vase reprend son volume initial. Les tubes de verre, pour manomètres, peuvent supporter jusqu'à 120 atmosphères de pression intérieure et 400 atmosphères de pression extérieure. Un excès de pression provoque un changement dans la texture, des fissures apparaissent et le verre se brise.

Le verre résiste mal aux efforts de flexion, mais la trempe développe son élasticité. Transformé en fils, par étirage à chaud, le verre est très flexible, il peut être feutré et tissé.

Porosité. — Le verre est pratiquement imperméable ; cependant il se laisse pénétrer et traverser par quelques liquides, le pétrole, par exemple ; on dit que le verre sue.

Densité. — La densité moyenne des verres est de 2,5 ; pour les verres de soude ou de potasse et de chaux, elle oscille entre 2,4 et 2,6 ; pour le cristal, elle varie de 3 à 3,8. En règle générale, la densité augmente par l'introduction de composés métalliques à poids atomique élevé ; c'est ainsi que Lamy a obtenu des verres au thallium ($Tl = 204$) d'une densité de 5,625. En outre, la densité diminue par la trempe et augmente par le recuit, sans que cette variation dépasse un centième.

Réfringence. — La réfringence d'un milieu transparent est le pouvoir qu'il possède de dévier la lumière qui le frappe, soit à la surface d'entrée, soit à la surface de la sortie. Cette déviation, inégale pour les diverses radiations colorées, sépare celles-ci, de sorte que la lumière qui a traversé un verre taillé présente des colorations, que l'on nomme des irisations, des jeux de lumière, des feux. Ces couleurs sont celles de l'arc-en-ciel : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo et violet ; cette dernière étant la plus déviée. La conséquence de la réfraction inégale des radiations est donc la cause de la *dispersion*.

(1) Une pression de 12 atmosphères équivaut sensiblement à un effort de 12 kilogrammes par centimètre carré de la surface pressée.

La réfringence d'un verre se mesure par son *indice de réfraction*, et elle varie avec sa composition, sans que l'on connaisse de loi réglant ces variations. En général, l'augmentation de la teneur en silice diminue la réfringence, tandis que l'augmentation des bases à poids atomique élevé l'augmente ; en particulier, les verres à base de plomb sont d'autant plus réfringents qu'ils contiennent plus de plomb et par suite qu'ils sont plus denses. Le tableau suivant montre les valeurs comparées des indices et des densités de quelques matières :

	Indice de réfraction.	Densité.
Eau	1,33	1
Crown-glass	1,5	2,48
Quartz	1,55	2,6
Flint-glass	1,6	3,6
Verre au thallium	1,71 1,96	4,23 5,62
Diamant	2,42	3,5 à 3,55

Les différences de réfringence que possèdent les crown-glass et flint-glass sont employées en optique pour la confection des combinaisons achromatiques, c'est-à-dire des systèmes de lentilles combinées ne donnant pas les colorations (irisations) que l'on observe sur les bords des images quand on emploie une lentille simple (1).

Transparence. — Une matière est dite transparente pour une radiation quand elle se laisse traverser par cette radiation ; la transparence est parfaite quand la radiation ne subit aucun affaiblissement par le fait de son passage dans le milieu ; dans le cas contraire, il y a absorption partielle de la radiation par le milieu et affaiblissement de cette radiation. Quand le *pouvoir absorbant* du milieu pour la radiation est grand, on dit ce milieu *opaque*. Nous devons examiner la transparence du verre pour la lumière, la chaleur et l'électricité.

(1) L'achromatisme, découvert en 1733 par Hall, puis en 1757 par Dollond, opticien à Londres, repose sur cette constatation que la dispersion n'est pas proportionnelle à la réfraction. On peut donc détruire la dispersion, qui est la cause des irisations des images, sans annuler la réfraction, c'est-à-dire l'effet de la lentille.

La lumière traverse facilement le verre et subit un affaiblissement très variable. Les verres d'optique, les objectifs photographiques, par exemple, doivent être d'une très grande transparence (luminosité). Pour les verres ordinaires, la transparence est imparfaite, et de plus inégale pour les diverses radiations colorées, ce qui cause la coloration du verre. Les verres dénommés couramment *verres blancs* ne sont pas parfaitement incolores, et sous une épaisseur assez forte, ils apparaissent jaunâtres ou verdâtres; cet effet, particulièrement sensible sur les verres anciens ou sur les verres longtemps exposés à la lumière solaire, est dû aux petites quantités de soufre et de fer qu'ils contiennent. Le soufre vient du sulfate de soude employé à la fabrication ou contenu dans le carbonate de soude également employé; le fer est à l'état d'oxyde, et est introduit à dose intime, surtout par le sable. Incolore au moment de sa préparation, le verre se colore peu à peu; le fer passe à l'état de protoxyde qui teinte en jaune, et le sulfate de soude devient du sulfure de sodium qui augmente la coloration jaune. Les tons des verres insolés sont surtout jaunâtres, verdâtres ou vert bleuâtres. Un verre ainsi altéré reprend sa transparence première quand on le chauffe au rouge. Les verres au plomb et les verres colorés ne subissent pas cette atteinte sous l'action de la lumière.

Le verre est transparent pour la chaleur lumineuse, on le dit *diathermane*; mais il est opaque pour la chaleur obscure, on le dit *athermane*. La conséquence de ce double pouvoir est pratiquement importante, le verre laissant passer la chaleur solaire directe, mais s'opposant au passage en retour de la chaleur diffusée par les objets placés derrière le verre; c'est en application de ces faits que l'on emploie le verre pour couvrir les serres et pour fabriquer les cloches des cultures maraîchères. L'athermanéité d'un verre a pour conséquence son échauffement par la chaleur absorbée; elle semble dépendre de la présence de l'oxyde de fer (surtout à l'état de peroxyde). On augmente cette athermanéité par l'addition d'oxyde d'urane.

Le verre est opaque pour l'électricité, c'est-à-dire est isolant.

Seuls les verres riches en alcalis, qui sont hygroscopiques, comme nous le verrons plus loin, sont de mauvais isolants.

Dilatation. — Sous l'influence d'un échauffement, le verre se dilate, comme toute substance, mais cette dilatation est moins sensible que pour les métaux; elle égale la moitié de celle du cuivre, et les deux tiers de celle du fer, ainsi que le montrent les chiffres suivants :

	Verre ordinaire.	Cristal.
Coefficient de dilatation linéaire...	0,000 008 8	0,000 027
Coefficient de dilatation cubique..	0,000 008 1	0,000 022

Malléabilité. — Entre sa température d'affinage et celle de sa solidification, le verre est malléable, et pour ainsi dire plastique. C'est cette propriété que l'on met à profit pour travailler le verre, soit par soufflage, soit par moulage, soit par tout autre procédé. Pour que cette propriété soit conservée, il faut maintenir le verre dans l'intervalle des températures qui correspondent à l'état pâteux ferme ou à la liquidité; et pour cela, il faut réchauffer la pièce en travail. Une autre difficulté de ce travail tient à la mauvaise conductibilité du verre pour la chaleur. Pendant le soufflage, par exemple, les parties extérieures en contact avec l'air se refroidissent plus vite que les parties intérieures, et l'habileté de l'ouvrier consiste à maintenir, autant que possible, une égale répartition de la chaleur dans la masse en travail.

Une comparaison fera bien comprendre l'état d'une pâte de verre. Une pâte d'argile est formée de particules ténues, argileuses, convenablement humectées d'eau, et contenant une proportion d'humidité intermédiaire entre celle qui donne la liquidité (barbotine) et celle trop faible qui donne la pâte sèche. Le modeleur doit maintenir, pendant le travail, la proportion d'eau nécessaire et doit veiller à son égale répartition, l'évaporation superficielle tendant à dessécher la pâte. De même le verrier doit maintenir la température nécessaire et veiller à l'égale répartition de la chaleur; mais ce dernier travail est d'autant plus difficile qu'il se fait dans un temps assez court, et à l'aide d'instruments d'une grande simplicité.

Trempe et recuit. — Une pièce de verre étant façonnée,

son refroidissement est ordinairement assez rapide, et le jeu des dilatations ne peut se faire librement dans toutes ses parties, ce qui laisse la pièce très fragile et susceptible de se briser sous l'influence des moindres variations de température. Il faut alors procéder à un recuit ou à une trempe.

Par l'opération du recuit, les pièces sont chauffées à une température voisine du ramollissement, puis sont refroidies avec une extrême lenteur; dans cette opération, le refroidissement se fait uniformément dans toute la masse, le retrait est aussi uniforme, et l'édifice moléculaire est stable. Les variations de température que subira plus tard le verre ne seront jamais brusques et grandes, et la pièce suivra sa dilatation ou son retrait sans rupture. Le recuit est accompagné d'une contraction, et par suite d'une augmentation de densité déjà signalée.

Par l'opération de la trempe, on chauffe les pièces à une température voisine de celle de déformation, puis on les trempe dans un bain à température très inférieure, de telle façon que toute la surface des pièces, aussi bien intérieure qu'extérieure, subisse en même temps l'action réfrigérante du bain. Par ce moyen, les parties superficielles, brusquement saisies, conservent la dimension qu'elles avaient à chaud, leur retrait ne se fait pas, et dans cette enveloppe, trop grande pour la température acquise, les parties intérieures ne peuvent suivre leur retrait normal, elles sont dans un état de distension particulier, qui crée un faux équilibre, une stabilité anormale. Les bains que l'on emploie sont : pour le cristal, une graisse épurée, portée à 80 ou 100 degrés ; pour le verre, un mélange de graisse et d'huile, porté à 150 ou 250 degrés. Dans le procédé Siemens, on trempe par contact avec des surfaces d'argile ou de fer, qui sont en même temps des moules.

Le verre acquiert par trempe une grande résistance au choc, tandis que sa dureté et sa flexibilité se sont accrues; mais ses molécules étant dans un état de stabilité anormal à la température ordinaire, on ne peut ni le couper au diamant, ni le tailler, en un mot on ne peut altérer la continuité de sa surface, enveloppe stable des parties intérieures instables.

La rupture des pièces trempées se fait brusquement, avec émiettement, ce qui est un danger et limite l'emploi (1).

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES VERRES

Dans ce chapitre, nous nous occuperons plus spécialement des altérations que subissent les verres sous l'action des agents avec lesquels ils sont ordinairement en contact : l'air, l'eau, les alcalis et les acides (le vin par exemple); ensuite nous examinerons les altérations subies par le verre en présence de quelques matières chimiques.

Solubilité. — Sous l'action de l'eau, le verre est lentement attaqué, surtout s'il est fortement alcalin. Pour comprendre cette action, il faut rappeler que le verre contient des silicates alcalins (solubles) et des silicates calcaires (insolubles) unis à un excès de silice. L'eau, dissolvant lentement le silicate alcalin, prend une réaction légèrement alcaline et laisse un verre plus calcaire et plus siliceux. L'altération est très lente dans les conditions ordinaires; elle est accélérée par l'ébullition, et aussi par la pulvérisation préalable du verre; en attaquant du verre par l'eau sous pression, à 300°, Daubrée a réussi à séparer ses constituants, silicate de soude soluble, silice (sous forme gélatineuse), et wollastonite (silicate calcaire) formant un squelette fibreux.

Altération à l'air. — L'air humide agit comme l'eau, et son action est très lente; elle se traduit par une disparition du silicate alcalin et la formation superficielle d'une couche de verre plus calcaire et siliceux. La couche transformée est très mince, elle donne à la lumière les couleurs d'interférences que l'on observe dans les bulles de savon par

(1) Les *larmes bataviques* et les *flacons de Bologne* sont obtenus en trempant dans l'eau froide des gouttes de verre fondu ou de petits ballons à paroi épaisse ; ils résistent au choc du marteau, mais se réduisent en poussière, avec éclatement, quand on brise la pointe d'une larme, ou quand on raie l'intérieur d'un flacon avec un grain de sable.

Le verre trempé fut lancé sous les noms de *verre durci, verre de Vulcain* (M. de la Bastie). Il a maintenant presque disparu du commerce.

exemple, et qui produisent des irisations sur les vieilles vitres.

Ces irisations, quelquefois d'un très bel effet décoratif, ont été accidentellement produites par séjour du verre dans la terre ; on peut les reproduire en attaquant le verre par une solution chlorhydrique faible (15 p. 100) sous pression.

Action des alcalis et des acides. — Les alcalis, potasse, soude, ammoniaque, soit à l'état caustique, soit à l'état de carbonates (potasses et soudes du commerce), attaquent les verres, surtout en solutions diluées. Dans tous les cas, il se forme un silicate alcalin aux dépens de la silice du verre, et la dissolution de ce silicate cause une altération rapide. Les alcalis concentrés et chauds ont une action presque immédiate et fondent le verre.

Les acides et tout spécialement l'acide sulfurique attaquent le verre, donnent des sels (soit du sulfate de chaux) et déposent la silice gélatineuse.

Les boissons, telles que le vin et le cidre, exercent lentement sur le verre une action décomposante, nuisible à la bonne conservation de ces liquides. Les verres à bouteilles, devant être produits à bon marché, doivent avoir un point de fusion bas, et contenir peu d'alcalis ; ils sont chargés de bases, chaux, alumine, fer. Les boissons contiennent des sels, sulfate de chaux, tartrate de potasse, qui agissent ainsi : le sulfate de chaux donne, avec le silicate de soude du verre, un silicate de chaux insoluble et un sulfate de soude soluble ; le tartrate de potasse donne un tartrate de chaux insoluble ; la silice et l'alumine mises en liberté restent en suspension dans le vin et le troublent, tandis que le fer, libre également, développe une saveur désagréable.

Parmi les agents chimiques qui attaquent le verre, signalons les corps réducteurs, qui agissent comme la lumière, faisant passer à l'état de protoxyde les oxydes de fer, et transformant en sulfures les sulfates, colorent le verre en jaune. Rappelons que la coloration noire à reflets métalliques que prennent les verres, ceux au moins qui contiennent du plomb, à la flamme du chalumeau, est due à la réduction des composés plombiques et à la mise en liberté de plomb métallique.

Gravure sur verre. — L'acide fluorhydrique agit d'une façon toute particulière sur les verres, et les attaque vivement; pour cette raison, cet acide ne peut être conservé dans des vases de verre, et il est employé pour la gravure. Seuls les verres à base d'acide phosphorique résistent à l'acide fluorhydrique.

L'acide fluorhydrique gazeux agit de la façon suivante : il attaque les silicates, forme avec la silice du fluorure de silicium, et avec les bases, des fluorures correspondants ; tandis que le fluorure de silicium est gazeux, les autres produits forment à la surface du verre une poudre légère. L'équation de la réaction est, pour le verre de soude par exemple :

SiO^3Na^2	+	$6HF$	=	SiF^4	+	$2NaF$	+	$3H^2O$
Silicate de sodium.		Acide fluorhydrique.		Fluorure de silicium.		Fluorure de sodium.		Eau.

Les surfaces mates produites par l'acide gazeux ne sont pas uniformes, aussi ce procédé de gravure est-il très peu employé.

Les bains de gravure à l'acide liquide contiennent de l'acide fluorhydrique libre et un fluorure alcalin (de sodium, par exemple). Ils agissent à la fois sur la silice et sur l'alcali du verre, donnant un silico-fluorure de sodium et un silico-fluorure de calcium, composés qui cristallisent à la surface, de sorte que cette surface est transformée en une véritable mosaïque de cristaux, dans les intervalles desquels l'action de l'acide s'est fait sentir plus profondément. L'équation de la réaction est, pour un verre contenant de la chaux :

$CaO,3SiO^2$	+	$4NaF$	+	$14HF$	=	SiF^6Ca	+	$2SiF^6Na^2$	+	$7H^2O$
Silicate de calcium.		Fluorure de sodium.		Acide fluorhydrique.		Silico-fluorure de calcium.		Silico-fluorure de sodium.		Eau.

Dans cette réaction, une partie de l'acide fluorhydrique est employée à la neutralisation des bases, aussi, pour éviter l'emploi de cet excès d'acide libre, on ajoute de l'acide acétique, qui entraîne une partie de la soude, sous forme d'acétate. Les différents effets de transparence ou d'opacité

sont produits par l'emploi judicieux de solutions plus ou moins concentrées, et en remplaçant le fluorure de sodium par celui de potassium ou celui d'ammonium. Les bains concentrés où les cristaux de silico-fluorures sont insolubles, donnent des surfaces mates à grain fin et doux, parce que les cristaux se forment très rapidement et sont par suite très petits. De même, les bains potassiques donneront les gravures les plus fines, car la solubilité des silico-fluorures est moindre pour le potassium que pour le sodium et surtout que pour l'ammonium. Pour obtenir une belle matité, c'est-à-dire un grain de gravure très fin, on composera le bain avec une solution concentrée de fluorure de potassium et d'acide fluorhydrique libre; mais on peut employer le fluorure d'ammonium et l'acide libre, à la condition de préparer des solutions saturées.

PRÉPARATION DU VERRE

La fusion des matières vitrifiables et l'affinage du verre sont des opérations très importantes, et les perfectionnements apportés à la construction des fours, surtout pendant ces trente dernières années, ont révolutionné les conditions de travail en verrerie, et les conditions économiques de cette industrie.

Pendant longtemps, et jusque vers le milieu du XVIIIe siècle, le bois fut le seul combustible employé, et les verreries étaient installées au voisinage des forêts pour économiser les frais de transport d'une matière encombrante, dont on dépensait un poids triple et même quadruple de celui du verre fabriqué. Dans les fours, le verre était fondu dans des *pots* en terre réfractaire, librement ouverts. Vers 1750, les verriers anglais commencèrent à substituer la houille au bois, et ils obtinrent de bons résultats, mais à la condition de remplacer les anciens pots par des pots couverts, pour éviter les colorations données par la flamme fumeuse des houilles; dans ces conditions, la fusion fut plus difficile, et il fallut ajouter au verre un fondant actif, l'oxyde de plomb, ce qui fit naître l'industrie du cristal. Des perfectionnements dans la construction des fours permirent l'emploi de la houille dans les autres industries du verre,

et cet emploi est presque général actuellement; cependant, ce n'est qu'en 1866 que la cristallerie de Baccarat substitua la houille au bois. La verrerie de la Vieille-Loge, près de Besançon, l'une des plus anciennes de France, emploie encore le bois, avec des gazogènes; les usines verrières de Russie sont aussi, pour la plupart, chauffées au bois.

Les perfectionnements apportés aux procédés de chauffage sont dus à l'emploi des gazogènes, réalisé dans les fours Boëtius, puis à l'emploi simultané des gazogènes et des récupérateurs de chaleur, réalisé dans les fours Siemens, conformément aux célèbres brevets pris par les deux frères, Sir William et Frédéric Siemens, en 1862. Appliqués tout d'abord aux fours à pots, ces procédés ont permis d'entreprendre la construction d'immenses fours à sole, dits *fours à bassin*, dans lesquels la masse de verre est préparée en grande quantité, moyennant une dépense de combustible d'environ 800 grammes de houille par kilogramme de verre fondu, contre 2 kilogrammes que l'on dépensait encore, il y a vingt ans à peine. Le premier four à bassin fut installé dans la verrerie à bouteilles de Siemens, à Dresde, en 1874; il permit de porter la production journalière, due à ce seul four, à 24 000 bouteilles. Les grands fours actuellement en service peuvent contenir jusqu'à 400 000 kilos de verre, avec une fusion journalière de plus de 25 000 kilos.

L'emploi des gazogènes, qui fournissent un combustible gazeux, a conduit à l'utilisation des combustibles liquides naturels, que l'on gazéifie; c'est ainsi que les verreries de Pittsburg (Amérique) sont chauffées au pétrole, et la glacerie américaine de O'Hara, au moyen de la benzine.

Nous décrirons les fours de verrerie types, dont les autres ne sont que des variantes. Nous commencerons par l'ancien four à pots, dont la disposition simple permet de bien comprendre la nature du travail en verrerie, puis nous passerons en revue le four Boëtius, et enfin le four Siemens. Mais, pour que l'importance réelle de chaque système soit mise en évidence, nous donnerons un tableau sommaire des fours employés dans chaque industrie verrière :

Industrie.	Fours.	Travail.
Verre à bouteilles..	à pots. Siemens (surtout).	Intermittent. Continu.
Gobeleterie....	Boëtius, à pots.	Continu.
Cristallerie....	Boëtius, à pots.	Continu.
Verres à vitres....	Siemens ou Gobbe.	Continu.
Glacerie....	à pots.	Intermittent.

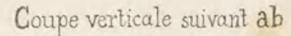
Les avantages que présentent les fours à bassin, principalement au point de vue économique, laissent penser que bientôt ils remplaceront partout les fours à pots; ces fours sont construits par deux grandes Maisons, la Maison Siemens (de Dresde), et la maison Gobbe et Pagnoul (de Jumet, près de Charleroi).

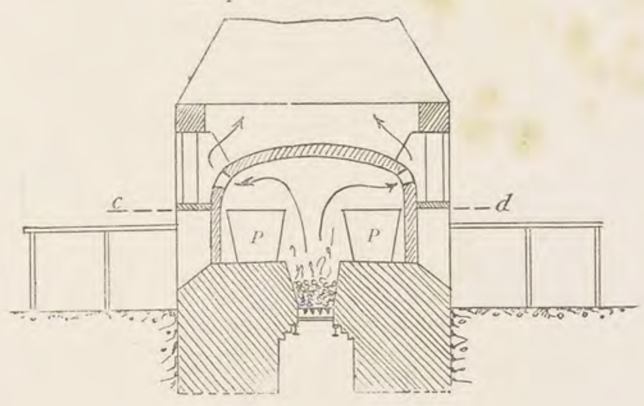
FOURS A POTS

Un four de verrerie comprend : le four proprement dit, et ses dépendances, qui sont des fours spéciaux pour opérer la fritte du mélange vitrifiable, ou pour recuire les pièces fabriquées; le plus souvent, ces dépendances sont des cavités latérales du four, chauffées indirectement et nommées *arches à fritter* ou *arches à recuire*.

Le four est bâti sur plan rectangulaire (fig. 1 et 2), sur un plan circulaire, sur un plan ovale ou sur un plan rectangulaire dont le petit côté porte une partie en demi-cercle. Ce four comprend : une partie centrale, placée en contre-bas, le *foyer*, dont les deux grilles (fig. 2) sont dirigées suivant un diamètre ; une partie placée à hauteur du sol ou à une faible hauteur, et nommée la *sole* ou les *banquettes*, sur lesquelles sont placés les pots à verre (*p*, fig. 1) ; au milieu des banquettes est une excavation, qui surmonte les foyers, et nommée la *pipe*, par laquelle arrivent les flammes. Tout autour des banquettes est l'*anneau*, maçonnerie formant paroi, et percée d'autant d'orifices, les *ouvreaux*, qu'il y a de pots; cette paroi est renforcée entre les creusets et forme des sortes de piliers ou cloisons entre deux ouvreaux voisins. L'anneau est surmonté de la *voûte*, qu'il supporte, et celle-ci, formant réverbère, concentre la chaleur ; le tout est couvert par une hotte garnie ou non d'une cheminée, déterminant un tirage actif.

Les fours de verrerie sont faits en matériaux très réfractaires, car ils doivent supporter une température de 1250 à





Plan suivant cd

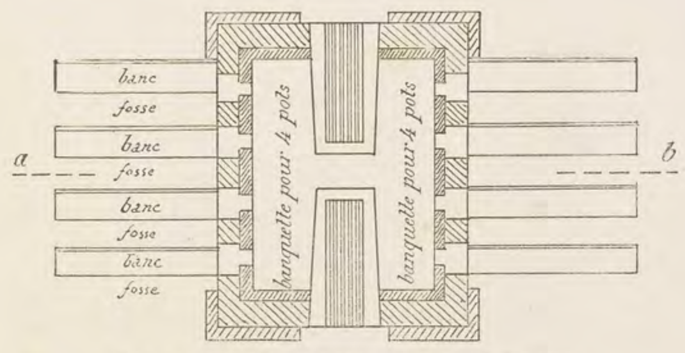


Fig. 1 et 2. — Fours à pots, pour verre à vitres.

1300 degrés, et cela continuellement. Leurs parois sont faites de briques réfractaires spéciales, moulées, séchées et cuites; les remplissages sont faits d'un mélange d'argile crue et

d'argile cuite, dont le retrait est faible ; le même mélange entre dans la composition des mortiers. Le four achevé est un bloc d'argile réfractaire, il est desséché à la température ordinaire pendant quatre mois, puis on opère le *réchauffage du four*, en allumant un petit feu, jusqu'à atteindre la température de fusion du verre ; c'est alors que les creusets sont placés dans le four par les *ouvertures de feu*, disposées en regard de la place que doit occuper le creuset sur la banquette. Un four a une durée variant de deux à cinq ans.

Autour du four, en face des ouvreaux, est disposée une plate-forme sur laquelle se tiennent les ouvriers, chaque équipe occupant une *place* devant un ouvreau ; cette plate-forme peut s'étendre en rayonnant autour du four, de façon à donner plus de place pour le travail, et elle porte alors le nom de *banc*; élevé au-dessus du sol, le banc permet à l'ouvrier souffleur de manœuvrer sa canne au dessous de lui, dans l'intervalle de deux bancs, nommé *fosse*, où se tiennent les aides qui achèvent le travail.

Pots à verre. — La fusion du verre s'effectue le plus souvent dans des creusets ou pots, dont la construction exige beaucoup de soin, en raison de la haute température qu'ils doivent supporter, et surtout parce que le verre tend à les attaquer et à les vitrifier. Pendant longtemps, on a employé les pots ouverts, sortes de baquets de 70 à 80 centimètres de hauteur, ayant une paroi de 10 centimètres d'épaisseur, et pouvant contenir de 400 à 600 kilos de verre; mais l'emploi de la houille qui produit des fumées noires et peut donner des gaz réducteurs, a contraint à employer des pots couverts (fig. 3), sur-

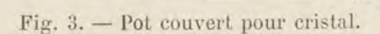


Fig. 3. — Pot couvert pour cristal.

tout utiles en cristallerie, là où les réductions fournissent du plomb métallique colorant le cristal. Cette substitution a augmenté la durée de la fonte, et, tandis que l'on pouvait travailler le matin le verre fondu dans la nuit précédente (en douze heures), on ne peut travailler actuellement qu'au bout de dix-huit à vingt-quatre heures, c'est-à-dire le surlendemain, le verre fondu en pots couverts. La fusion lente a l'avantage de donner un verre mieux affiné, mais elle a l'inconvénient d'exiger un plus grand four, puisqu'à côté de chaque pot en travail, il y a un pot en fonte ; certains fours contiennent jusqu'à 24 pots.

La confection d'un pot est longue et délicate ; elle est réalisée à l'usine verrière. La terre employée est une argile très réfractaire (terre de Forges, Seine-Inférieure), mélangée de produits réfractaires déjà cuits et par suite ayant subi le retrait, et de grès. Ces matières sont finement pulvérisées, malaxées, soumises au pourrissage (1) et constituent une terre plastique. Le modelé du pot s'obtient dans un moule en bois, garni intérieurement d'une grosse toile. Au moyen de petites boulettes de terre, l'ouvrier façonne dans ce moule le fond, puis les bords du creuset, en procédant lentement et unissant par pétrissage les petites boules qu'il ajoute. Le pot achevé est séché, à l'ombre, et à 15°, tandis que l'on foule le fond de temps en temps ; on sèche ensuite pendant trois mois, à 40°. Le pot est alors porté dans l'arche à attremper les pots préalablement refroidie à 50° ; on le porte graduellement au rouge, ce qui demande huit jours ; à cet état, on le place dans le four, sur la banquette, et on y met du *calcin*, ou débris de verre ; le calcin, en fondant, attaque le pot et donne un verre alumineux très peu fusible, qui protège le pot contre toute attaque ultérieure ; c'est l'*enverrage du creuset*. Un bon creuset doit durer au moins quatre mois ; on comprend toute l'importance que le verrier attache à la bonne qualité de ses pots, car la rupture d'un pot est toujours grave ; les cuvettes à verre employées pour le coulage des glaces doivent être particulièrement soignées, car elles devront être saisies par les mors

(1) Voy. les *Chaux et Ciments*, les *Produits céramiques*.

d'une grande pince et sorties du four avec leur charge de verre en fusion.

Four Boëtius. — Nous choisirons le four Boëtius comme un type des fours de verrerie employant des gazogènes, et nous passerons sous silence les perfectionnements que réalisent les fours Appert et Regnault, très employés en France. Pour bien comprendre le progrès réalisé par le four Boëtius, il faut examiner les réactions qui se produisent dans un four industriel.

Une combustion simple est l'union directe du combustible (carbone) avec l'oxygène de l'air. Le combustible est disposé sur une grille, en quantité convenable, mais pas trop grande; l'air est entièrement introduit froid par le cendrier, il passe entre les barreaux de la grille et il doit brûler complètement le carbone suivant la réaction : $C + 2O = CO^2$, en produisant du gaz carbonique; dans ces conditions, les flammes ne peuvent être très longues et par suite les fours sont réduits; de plus, la température des gaz chauds (flammes) est limitée par ce que l'air est introduit froid et doit s'échauffer; en outre, l'échauffement des creusets ne se fait que par contact des gaz chauds, et une perte en résulte, pouvant atteindre 60 ou 70 p. 100, dans un four chauffé à 1 500° (c'est la quantité de chaleur emportée par les fumées, à la cheminée).

Un premier progrès est l'alimentation du four, en produits gazeux, au moyen de *gazogènes*. Dans le cas le plus simple, le gazogène (fig. 4) est un foyer à grille inclinée pouvant supporter une couche épaisse de combustible, un mètre par exemple ; dans la masse incandescente de charbon se produisent deux réactions : l'une, à la grille, donne du gaz carbonique (CO^2); l'autre, en présence de l'excès de charbon, donne de l'oxyde de carbone ($CO^2 + C = 2\,CO$). Le gaz oxyde de carbone, déjà très chaud, est introduit dans le four en même temps que le complément d'air nécessaire à la combustion, selon la formule : $CO + O = CO^2$. La flamme ainsi produite est aussi étendue qu'on le désire, car elle est plutôt un embrasement général de la masse de gaz, ce qui permet d'augmenter la dimension des fours; de plus, la combustion

se produit entre deux gaz dont l'un est déjà chaud, et la température résultante est notablement plus élevée. En résumé, la combustion est ici produite en deux temps : dans le premier temps, on gazéifie le combustible au moyen de l'*air primaire* ; dans le second temps, on brûle le combustible gazeux au moyen de l'*air secondaire*. Remarquons que l'air secondaire peut être chauffé aisément en le faisant circuler dans des carneaux avoisinant les parois du foyer, ce qui assure une température plus élevée dans le four.

Un gazogène peut être alimenté avec l'air (air primaire),

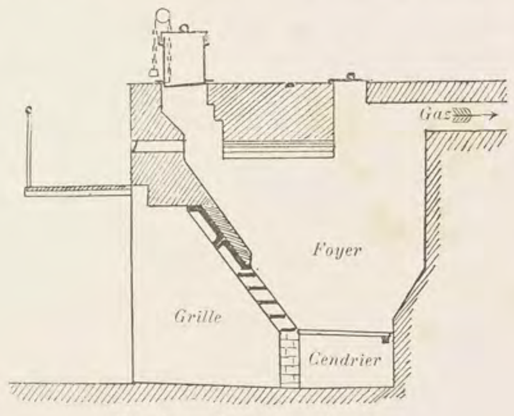


Fig. 4. — Gazogène Siemens.

mais il peut aussi être alimenté avec l'eau, donnant le *gaz à l'eau*, ou avec l'air et l'eau, donnant le *gaz mixte* ; enfin, on peut l'alimenter avec les fumées (four Biedermann), dont le gaz carbonique se transforme en oxyde de carbone. Ce dernier procédé, utilisant les fumées chaudes, réalise la récupération de la chaleur que ces fumées perdent habituellement. Dans le cas de l'eau, il y a réaction entre la vapeur d'eau et le charbon, selon la formule : $H^2O + 2C = 2H + 2CO$; et la combustion de l'hydrogène ainsi ajouté au gaz donne une élévation notable de la température dans le four. Nous donnerons comme exemple la composition d'un gaz mixte de Siemens :

Oxyde de carbone	20	Gaz carbonique	5
Hydrogène	13	Eau non décomposée	2
Formène	3	Azote (1)	56

Le four Boëtius, que représente la figure 5, se compose de trois parties ou mieux de trois étages, et présente une forme condensée évitant les conduits qui sont toujours une cause de

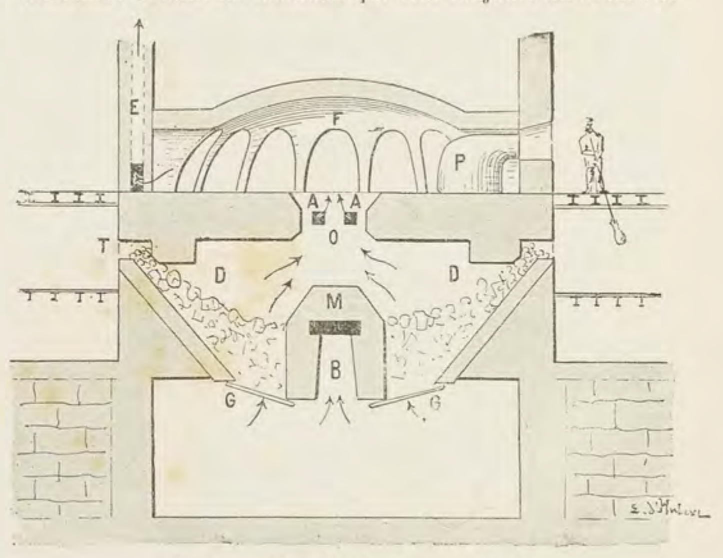


Fig. 5. — Four Boëtius pour cristal.

perte de chaleur. La partie inférieure, ou *cave* C, sert à effectuer le décrassage des deux grilles G ; au moyen d'une longue pince, on fait tomber les mâchefers. Par la cave arrivent l'air primaire pour les grilles, et l'air secondaire qui passe par l'ouverture B. Le deuxième étage est le *gazogène* D, constitué par les deux grilles G disposées suivant un diamètre du four, et laissant entre elles un massif creux M, dit *chambre à air* par où passe l'air secondaire. Les charges de combustible s'intro-

(1) L'azote provient de l'air, qui en contient les 4/5 de son volume. Avec le gaz carbonique résultant de la combustion, l'azote est le principal produit rejeté par la cheminée.

duisent par les *tisards* T, d'heure en heure, et de façon à maintenir une couche de charbon de un mètre environ sur les grilles. Les gaz chauds produits par le gazogène montent dans le conduit vertical O, et rencontrent l'air secondaire, qui a circulé dans des carneaux entourant le foyer et qui arrive par les ouvertures A ; le mélange gazeux se répand dans le four proprement dit F, ou troisième étage, et il y brûle. Ce four est circulaire, il présente une banquette (la sole) sur laquelle sont les pots à verre P, et en face de ceux-ci sont les ouvreaux permettant le cueillage du verre ; entre deux pots, c'est-à-dire entre deux ouvreaux sont placés les piliers du four, qui sont creusés d'un conduit de fumée E, par lequel passent les gaz brûlés, de telle façon que les flammes lèchent chaque pot sur toute sa surface. Les divers conduits de fumée se réunissent à la partie supérieure de la hotte du four pour s'échapper dans l'air.

Les perfectionnements apportés par Appert et par Regnault au four Boëtius sont relatifs à l'échauffement de l'air secondaire, par son passage dans des carneaux très divisés et entourant les foyers (gazogènes).

FOUR SIEMENS A BASSIN

Les fours Siemens sont construits de façon à récupérer une grande partie de la chaleur que les fumées entraînent et qui peut égaler 70 p. 100 de la chaleur produite. Ces fours ont donc des gazogènes ou générateurs et des *récupérateurs*, nommés encore *régénérateurs*.

Le principe des récupérateurs peut être compris sur la figure 6. La température du four étant par exemple 1 500°, les fumées sont dirigées dans un groupe de récupérateurs, vastes chambres à parois réfractaires contenant des briques disposées en chicane et formant une grande surface que les fumées échauffent jusqu'à 1200°. Deux récupérateurs étant chauds, on y fait passer (à droite de la figure), dans l'un les gaz° des gazogènes, dans l'autre l'air secondaire ; ces gaz, à 550 s'échauffent à 1 100°, et l'air (froid) s'échauffe à 1 000°. Le mélange passe alors dans le four, comme l'indique la grande

flèche de la figure, il y brûle et porte la température à 1 500°, tandis que les fumées qu'il produit se rendent dans une paire de récupérateurs frais, qu'elles échauffent à 1 200°. Après un certain temps de cette marche, on renverse le sens des courants gazeux au moyen de valves disposées aux bifurcations des conduits; les récupérateurs de gauche reçoivent alors les gaz des gazogènes et l'air secondaire, ceux de droite reçoivent les fumées provenant du four.

Par ce moyen, on obtient dans le four la température maximum, et aussi économiquement que possible; la limite à la température est la dissociation des fumées (gaz carbonique et vapeur d'eau).

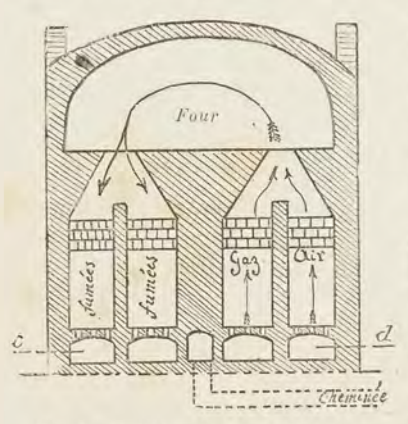


Fig. 6. — Récupérateurs Siemens.

L'emploi de deux jeux de récupérateurs peut occasionner des pertes de chaleur au moment des changements de marche, par l'envoi à la cheminée d'une double chambrée de gaz chauds, et elle peut donner des explosions par formation dans les chambres de mélanges tonnants, aussi remplace-t-on quelquefois les jeux de récupérateurs par un récupérateur unique où les gaz marchent toujours dans le même sens; dans ce cas, le récupérateur contient des poteries à paroi mince, dans lesquelles passent les fumées, et autour desquelles passent les gaz à échauffer. Les échanges de chaleur se font ici à travers la paroi de poterie.

Enfin, on réalise une nouvelle économie en dirigeant sous les grilles une partie des fumées, non absorbée par le récupérateur; ces fumées sont chaudes, et de plus, elles contiennent du gaz carbonique (CO^2) dont le carbone est régénéré, par la réaction connue : $CO^2 + C = 2CO$. Dans ce cas, le

gazogène est réellement un *convertisseur*. Pratiquement, les fumées sont injectées sous les grilles au moyen d'un jet de vapeur d'eau, dont l'action sur le carbone nous est connue.

Toutes ces dispositions ont permis d'aborder la construction de grands fours, à marche continue, dans lesquels on fond le verre sur sole. Ces fours, dits *fours à bassin*, utilisent le grand développement de la flamme, sa haute température ; ils sont économiques, pour les raisons signalées, et aussi parce que la chauffe du verre est directe, au lieu de se faire au travers d'une paroi (paroi des pots). Cependant, les difficultés à vaincre étaient grandes ; le verre attaquant le bassin, Siemens en refroidit la partie inférieure en y faisant circuler de l'air frais, de telle façon que le verre infiltré dans les joints pût se solidifier et assurer l'étanchéité. Une autre solution consiste à augmenter la profondeur du bassin et à porter à deux mètres la hauteur du bain de verre (verre à vitres) (E. Gobbe) ; on sait en effet que le verre à bouteilles, peu diathermane, n'est guère fondu et vraiment liquide qu'à 40 centimètres au-dessous de la surface, tandis que le verre à vitres, plus diathermane, est liquide jusqu'à $1^{m},50$ de profondeur.

Une condition particulière de chauffe, en verrerie, résulte de cette diathermanéité du verre, qui s'échauffe par la radiation intense des parois rougies de la voûte du four, bien plus que par le contact des flammes qui lèchent sa surface ; aussi a-t-on intérêt à augmenter la surface de la voûte, et à élever celle-ci, ce qui permet en outre de laisser la flamme se développer librement, en brûlant tout son carbone et en donnant des fumées incolores ; le seul inconvénient à ce développement de la voûte est le ralentissement de la vitesse de la flamme, ce qui ne permettrait pas l'obtention de températures très élevées, mais cela n'a pas d'importance en verrerie, puisqu'une température de 1450 à 1500° suffit à toutes les opérations.

Ainsi compris, un four à bassin se compose d'une maçonnerie réfractaire, établie sur un plan formé d'un rectangle dont l'un des petits côtés est raccordé à un demi-cercle. Les dimensions du bassin peuvent être les suivantes : longueur, 22 mètres ; largeur, 4 mètres ; profondeur, 2 mètres ; ce qui correspond à une contenance de 170 mètres cubes. La voûte

qui recouvre le tout est assez élevée (2 mètres) et forme souvent un dôme au-dessus de la partie demi-circulaire. Cette voûte est percée d'ouvertures régulièrement disposées en deux étages, et de chaque côté ; les orifices *g* (fig. 7) de l'étage inférieur amènent les gaz des gazogènes ; ceux de l'étage supérieur *l* amènent l'air secondaire. Ces gaz arrivant d'un côté, le départ des fumées se fait du côté opposé, et les flammes traversent le four transversalement ; dans un ordre de marche suivant, on change le côté d'arrivée et celui de sortie, de sorte que les flammes traversent le four en sens inverse ; ce renversement correspond, bien entendu, à celui de la marche des récupérateurs placés au-dessous du four. Des ouvertures sont ménagées tout autour du four : tout d'abord une large porte du côté de la petite base du rectangle, au fond du four, pour le chargement des matières vitrifiables ; puis des ouvertures de surveillance disposées sur les grands côtés du rectangle ; enfin les ouvreaux de travail, une douzaine par exemple, répartis sur la partie demi-circulaire (pourtour du dôme) et correspondant, à l'extérieur, à la plate-forme sur laquelle sont les équipes de verriers ; les plates-formes ont leur niveau un peu inférieur (0^m,80) à celui du bain de verre, elles sont séparées par les fosses où les ouvriers balancent leur canne. Toutes ces ouvertures peuvent être fermées, et en particulier les ouvreaux, qui possèdent un registre à glissement vertical protégeant l'ouvrier contre la réverbération intense de l'intérieur du four. Tout le four est protégé par un hangar librement ouvert et se continuant par la halle de travail.

Le four précédemment décrit étant surtout destiné à la fusion du verre à vitres, on comprend aisément les dispositions identiques d'un four pour verre à bouteilles ; ici, le bassin est moins profond, et le plan général est moins allongé ; de plus, les ouvreaux de travail sont plus nombreux (de 16 à 24) et restent ordinairement ouverts, puisque le cueillage du verre se fait très fréquemment, chaque minute environ.

Le cheminement du verre dans le bassin se fait, depuis le fond du four, région où les matières vitrifiables sont chargées, jusque dans la région antérieure où se fait le travail, et c'est le cueillage continuel du verre qui provoque ce cheminement.

Le verre traverse donc la région du four très fortement

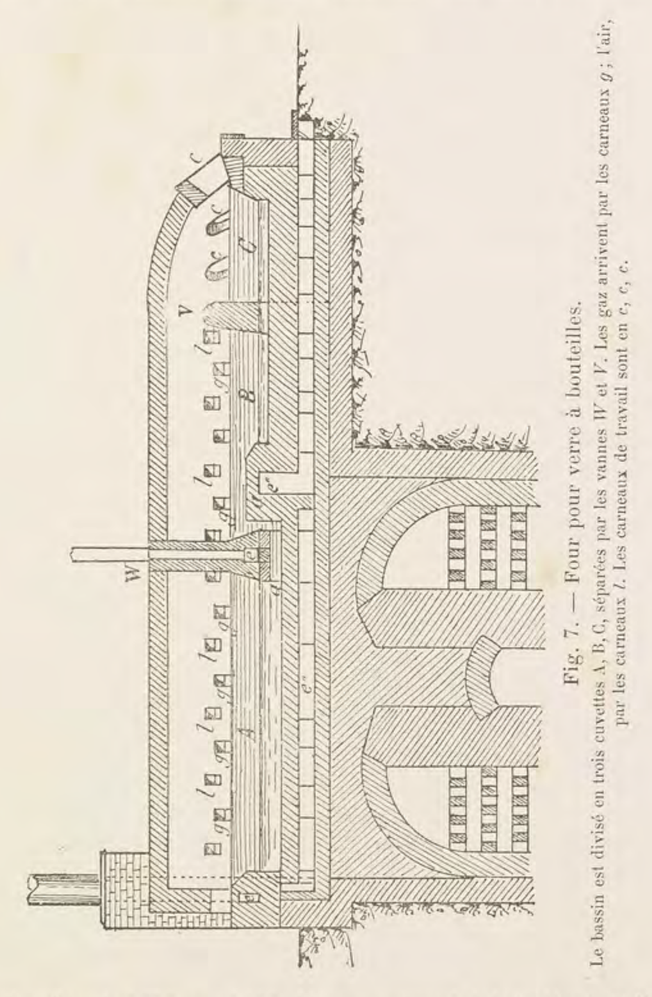


Fig. 7. — Four pour verre à bouteilles.

Le bassin est divisé en trois cuvettes A, B, C, séparées par les vannes *W* et *V*. Les gaz arrivent par les carneaux *g*; l'air, par les carneaux *l*. Les carneaux de travail sont en *c*, *c*, *c*.

chauffée, à 1 250 ou 1 450 dégrés (suivant fabrication) et il s'affine, avant d'arriver sous le dôme, où la température est

seulement 800 à 900 degrés, nécessaire pour que le verre possède l'état pâteux favorable à son travail.

Une particularité très intéressante est l'augmentation de densité que subit le verre en se liquéfiant et en s'affinant; il en résulte une descente dans le bain des parties fluides, affinées, et la possibilité de nettoyer le verre avant de le travailler. Quand le bassin est une cavité uniforme, il suffit de disposer dans le bain, et au-devant des ouvreaux, des couronnes d'argile réfractaire (terre à creusets); le verre affiné pénètre dans ces couronnes par leur partie inférieure, et c'est là que le gamin le cueille; il ne contient aucune des impuretés nageant à la surface, entre les couronnes (impuretés telles que le *fiel de verre*). Quand le bassin est formé de cavités à niveau différent, comme celui de la figure 7, ces parties sont séparées par des murs ou *vannes*, qui laissent passer le verre fluide à leur partie inférieure seulement. Ainsi, le verre fluidifié dans la cuvette A, passe par les orifices *a*, sous la vanne W, pour monter dans la cuvette B, où il s'affine, et redescend au fond du bain; il est alors attiré sous la vanne V, dans la cuvette C où le puisent les gamins, par les ouvreaux C. Cette propriété remarquable du verre a un autre intérêt, car elle détermine la circulation du verre dans le four et empêche le verre fondu d'être soumis à une température qui favorise sa dévitrification.

Des modifications et des perfectionnements nombreux ont été apportés à ces fours, du type Siemens, de façon à permettre de traiter dans un même four, sur des soles voisines, mais distinctes, des verres différents.

Les fours à bassin ont réalisé un très grand perfectionnement technique, et ont aussi révolutionné les conditions économiques du travail du verre; ils ont permis de diminuer la surface de l'usine et les frais de premier établissement, puisqu'un four à bassin de 200 000 francs remplace six fours à pots, coûtant ensemble plus du double; ils ont abaissé le prix de la matière à travailler, ce qui a permis de faciliter l'apprentissage des souffleurs et a abaissé le taux des salaires; enfin ils ont changé les heures de travail des équipes. La suppression de l'atelier de poterie pour la confection des pots

a été la première conséquence de l'emploi des bassins de fusion.

MATIÈRES PREMIÈRES

Les verres industriels sont formés de nombreuses matières qui s'unissent par la fusion, et qui donnent des produits de choix tels que les verres d'optique, le verre de Bohême, le cristal, ou des produits communs, tels que les verres à bouteilles, la pierre de verre, etc. Dans le premier cas, il faut introduire les éléments du verre à un état simple, pur, et en quantité exactement correspondante à une composition donnée; dans le deuxième cas, on peut s'adresser à toutes les matières naturelles dont la composition se rapproche de celle des verres, et corriger les écarts de composition par des matières ajoutées.

Parmi les silicates naturels presque directement vitrifiables, citons : certaines laves (1), le basalte, le granite de Finlande, les argiles facilement fusibles, la marne ferrugineuse, la pierre ponce. Une matière naturelle, le feldspath donnerait un excellent verre, si on pouvait l'obtenir à bon compte. Enfin, on peut employer des résidus industriels, tels que les scories ou laitiers des fours de finerie ou des hauts fourneaux. Voici, inscrites parallèlement, la composition d'un laitier de fonte grise et celle d'un verre à bouteilles colorées :

	Laitier.	Verre.
Silice	55	70
Chaux	8	15
Alumine	13	
Oxyde de manganèse	22	5
Oxyde de fer	2	
Potasse et soude		10

Dans l'étude des matières premières pour verre, nous suivrons l'ordre adopté pour l'examen de la composition chimique des verres.

La *silice* est prise sous forme de silice libre, quartz, sable,

(1) Pour la nature de ces roches naturelles, Voy. *les Pierres, le Marbre*, p. 9 à 19.

ou silex, ou sous la forme de silicates complexes, argile ou marne (pour les bouteilles). Les sables, qui proviennent de la désagrégation de roches dures, sont souvent mélangés aux éléments argileux provenant des feldspaths de ces roches, et on doit les léviger dans un courant d'eau; pour enlever le fer oxydé qui souille la surface des grains de sable, on met en digestion avec l'acide chlorhydrique, au moins pour la fabrication des beaux verres.

Les sables les plus employés sont ceux de Fontainebleau, de Nemours, de Pont-Sainte-Maxence, de Champagne, de la vallée de la Meuse. Pour les verres à bouteilles, tous les sables sont bons s'ils contiennent un peu de magnésie, et ceux de Cuise-la-Mothe en Champagne doivent à cette propriété d'alimenter toutes les verreries à bouteilles du nord de la France.

L'*acide borique* est introduit sous la forme de borate de soude (*borax*), ou sous celle de borate de soude et de chaux (*tiza*).

La *potasse*, et en particulier la *soude* sont introduites sous différentes formes, les unes naturelles, les autres artificielles. Parmi les composés alcalins naturels, citons la cryolithe (fluorure double d'aluminium et de sodiun) et les aluminates. Ordinairement, les chlorures, sel marin (chlorure de sodium) et sylvine (chlorure de potassium) ne peuvent pas être employés directement, à cause de leur volatilité ; ils sont cependant la forme économique des alcalis. Les formes alcalines artificielles sont celles que l'industrie dérive des chlorures, soit le sulfate, soit le carbonate. Les sulfates, sulfate de potasse et sulfate de soude (sel de Glauber) sont les premiers dérivés obtenus des chlorures ; introduits dans le verre, avec 8 parties de charbon (1), ils sont réduits, dégagent le gaz sulfureux et leur alcali s'unit à la silice ; un excès de charbon donne du sulfure qui colore le verre en brun, et nous savons que le soufre cause la coloration des vieux verres. Remarquons que ces sulfates perdent le soufre qu'ils renferment, et qu'il serait logique de livrer au verrier du silicate de soude préparé dans des appareils permettant de recueillir ou d'employer le gaz

(1) Cette pratique est constante dans les verreries belges, tandis que les verreries françaises n'ajoutent pas de charbon.

sulfureux qui se dégage. Les carbonates, connus sous les noms de potasses ou soudes du commerce, sont les formes d'alcalis les plus employées ; pendant la fusion du verre, ces sels dégagent leur gaz carbonique.

La *chaux*, la *baryte*, la *strontiane* et la *magnésie* sont introduites à l'état de carbonates, nommés respectivement *calcaire*, *withérite*, *strontianite* ou *dolomie*. Le sulfate de baryte ou *spath pesant* est également employé. Le calcaire est souvent de la craie blanche ; en Belgique, on exploite le calcaire carbonifère de la vallée de la Meuse.

L'*oxyde de plomb* est introduit, pour la fabrication du cristal, sous différentes formes, sous celle de *minium* en particulier. Le minium fabriqué dans l'industrie provient de l'oxydation de massicots ou litharges industrielles (résultant de la coupelation du plomb argentifère, par exemple) : il contient des métaux étrangers et particulièrement du cuivre à l'état d'oxyde ; aussi, les cristalleries un peu importantes fabriquent-elles le minium dont elles ont besoin, en partant de plombs purs, de marque connue. Le plomb est oxydé en massicot dans un four à réverbère, le produit obtenu est broyé à l'eau, et placé dans des ferrasses ou caisses en tôle, que l'on porte au-dessus du réverbère ; là, à une chaleur moindre, le produit rougit ; on le tamise finement. L'avantage que le minium (Pb^3O^4) présente sur le massicot ou la litharge (PbO) est dû à la suroxydation qu'il a subi ; par là, on est certain qu'il ne contient pas de plomb métallique, et le dégagement d'oxygène qu'il donne pendant l'affinage du verre est utilisé pour la combustion des matières organiques que la masse peut contenir accidentellement.

Bioxyde de maganèse. — Le bioxyde de manganèse, nommé encore *pyrolusite*, ou *savon des verriers*, joue un rôle multiple en verrerie, et son emploi remonte à une haute antiquité. Son action est à la fois chimique et physique : par l'oxygène qu'il dégage à haute température, il oxyde les matières organiques, et fait passer à l'état de sesquioxyde peu colorant le protoxyde de fer ; par la teinte légèrement violacée qu'il communique au verre, quand on l'emploie en petite quantité, il corrige la teinte jaune que le verre doit aux sels de fer et

au sulfure de sodium (cette *correction* vient de ce que le violet et le jaune sont des couleurs complémentaires). Mais, employé en quantité un peu grande, le bioxyde de manganèse communique au verre une teinte violet-améthyste, pouvant aller au violet-noir et même au noir, en même temps qu'il le rend très athermane.

Des substances décolorantes, autres que le peroxyde de manganèse, sont employées en verrerie, telles que l'acide arsénieux ou arsenic blanc, le minium, et le salpêtre ou azotate de sodium. Ces substances agissent chimiquement, par le dégagement d'oxygène qu'elles donnent à la température du rouge. On a préconisé leur remplacement par un courant d'air traversant le verre en fusion, et provoquant, en même temps, un brassage énergique favorable à la parfaite homogénéité du verre.

Rappelons que le minium, l'oxyde de zinc et les composés d'antimoine donnent au verre un grand éclat ; l'oxyde de zinc est le blanc de zinc ; quant aux composés d'antimoine, on les introduit sous forme de sulfures ou d'oxysulfures.

Préparation des matières premières. — Quand on opère la fusion de la *composition* par masses de 500 à 600 kilos, dans des pots, on doit préparer les matières premières, faire subir au sable un tamisage, broyer les autres corps pour faciliter le mélange et la fusion ; mais quand on opère la fusion dans les grands fours à bassin, contenant une grande quantité de verre, il est inutile de broyer les roches, et on peut les introduire en fragments, dont la dimension n'excède cependant pas 3 ou 4 centimètres. La plus grande attention doit être apportée au dosage des éléments, pour assurer la constance de la composition du verre, et quand cette composition est acquise, il suffit de s'y maintenir.

Groisil. — Les *groisils* sont les débris de verre qui proviennent, soit de la casse en fabrication et en manutention (un dixième dans les verreries à bouteilles), soit de l'écume qui déborbe les creusets (et nommée spécialement *picadit*), soit des fragments adhérents aux mors des cannes (et nommés *verre de canne*), soit, enfin, de l'achat des débris de verre des grandes villes. On ajoute toujours du groisil à la composition, et même, si le verre cassé est moins cher que la composition, on en

ajoute un poids supérieur à celui de cette composition. En cristallerie, comme il faut avoir des produits bien blancs, on trie le verre de canne, à la main; les fragments qui contiennent des taches de fer sont mis de côté, lavés à l'acide chlorhydrique, puis ajoutés à la composition.

Fusion du verre. — Depuis le moment où la composition est placée dans le pot ou dans le bassin d'un four, jusqu'au moment où le verrier commence à la travailler, cette composition subit les opérations connues de la fritte, de la fonte, de l'affinage, et enfin de la braise. Le temps que ces opérations exige est variable avec les fours, et les moyennes suivantes se rapportent à une fusion de verre à bouteilles; la fritte et la fusion exigent douze à quinze heures, l'affinage cinq heures, et la braise est maintenue pendant une douzaine d'heures, temps nécessaire au travail du verre contenu dans un pot.

Pendant la fusion, les matières de la composition s'unissent sous l'influence de la haute température du four, environ 1 200 à 1 300°, et les combinaisons formées se mélangent peu à peu pour donner un tout homogène; cette union des matériaux divers se fait lentement, parce que la silice (sable, quartz ou feldspath) n'est que lentement dissoute par les fondants, ses fragments étant rongés peu à peu, et aussi parce que la viscosité du verre précède sa fluidité. Bientôt, cependant, sous l'action des gaz, oxygène, gaz sulfureux et gaz carbonique, qui se dégagent, la masse est brassée. Alors commencent à se séparer les matières qui ne peuvent entrer dans le verre; les alcalis en excès, particulièrement les chlorures alcalins, sont amenés à la surface avec le sulfate de sodium, et forment une écume ou *fiel de verre* que l'on enlève avec une cuiller de fer. On surveille la fusion en cueillant une goutte de verre avec une tige de fer nommée la *cordeline*, et quand la fusion est achevée, on élève un peu la température pour l'affinage. Pendant cette opération, les parties lourdes, les grumeaux, se déposent au fond des pots, les gaz et l'air inclus se dégagent encore, et le reste du fiel de verre se volatilise. A ce moment, on brasse à la perche, en plongeant jusqu'au fond du pot une tige de fer dont l'extrémité porte un morceau d'acide arsénieux, ou un bout de bois, ou une pomme de terre; l'abondant déga-

gement de gaz qui se forme brasse énergiquement le verre ; dans le cas de l'acide arsénieux, l'oxygène se dégage et l'arsenic se volatilise. L'affinage achevé, on peut employer le verre en le coulant, mais si on doit le souffler, il faut laisser tomber à 800° la température du four, pour que le verre prenne l'état pâteux propre à son travail.

TRAVAIL DU VERRE

Les méthodes de travail du verre sont fondées sur ses propriétés physiques, en particulier sur sa malléabilité et sa mauvaise conductibilité pour la chaleur.

Le verre peut être travaillé quand il est très fluide, aussitôt après l'affinage, par *coulage* ou *moulage* ; dans ce cas, on n'utilise que sa fluidité. Il peut être travaillé après affinage et refroidissement, quand il est pâteux, par *soufflage*, *laminage*, *étirage*, dans des conditions très diverses ; on utilise alors sa malléabilité, sa plasticité, et aussi sa mauvaise conductibilité, car on coupe un verre encore rouge en le touchant avec un fer froid. Enfin, on peut laisser le verre se solidifier et le travailler ensuite : c'est ainsi qu'on fabrique les lentilles d'optique, et les imitations de pierres précieuses. Relatons aussi les résultats obtenus par les procédés de trempe, et le travail spécial de dévitrification qui donne la pierre de verre.

Nous examinerons successivement ces diverses méthodes de travail et nous décrirons à propos de chacune d'elles les outils spéciaux employés. Voici comment sont réparties ces méthodes de travail dans les principales industries verrières.

NATURE DE L'INDUSTRIE.	PROCÉDÉS DE TRAVAIL EMPLOYÉS.
Glacerie.	Coulage. Soufflage (Angleterre, Bohême).
Industrie du *verre à vitres*.	Soufflage. Laminage (Amérique).
Industrie du *verre mince coulé*.	Coulage.
Industrie du *verre armé*.	Coulage.
Industrie de la *pierre de verre*.	Moulage.
Cristallerie et gobeleterie.	Soufflage, moulage à la presse ou à l'air comprimé.
Verrerie à bouteilles.	Soufflage libre ou dans un moule.
Industrie des tuyaux de verre.	Étirage.

En outre, le façonnage de certaines pièces comporte un travail mécanique important, comme le dressage et le polissage des glaces coulées, la taille et le polissage du cristal. Nous décrivons ce façonnage en traitant de la fabrication de la pièce qui le comporte.

FABRICATION D'UNE GLACE

Coulage. — L'atelier de coulée est de forme rectangulaire, et sur ses longs côtés sont disposés les fours à recuire ou *carcaises*, qui sont du type des fours de boulanger ; aux deux extrémités de la galerie sont les fours à pots pour la fusion. Devant les carcaises sont deux doubles voies qui permettent d'amener devant chaque carcaise la *table à couler*, et une table faisant la jonction de la précédente avec la sole de la carcaise, pour l'enfournement facile de la glace.

Cela étant disposé, on enlève la *tuile d'ouvreau* au moyen d'une pince montée sur un chariot (ou bien on soulève le registre qui ferme l'ouvreau), on saisit le creuset au moyen d'une pince et on le place sur un chariot qui le conduit sous une grue ou un pont roulant. Le creuset est amené, après purification de la surface du verre, au-dessus de la *table à couler*, vaste plaque de fonte (ou de bronze), élevée de 80 centimètres au-dessus du sol et préalablement chauffée ; cette table est formée de nombreuses plaques qui, jouant les unes sur les autres par la dilatation, conservent à la table sa planéité, quand elle s'échauffe par le contact du verre fondu. La masse de verre est versée sur la table, et un lourd rouleau, reposant sur deux règles latérales qui limitent la largeur de la glace, roule en poussant le verre devant lui et en l'étalant. La glace prend l'épaisseur des deux règles, elle se solidifie, et est poussée dans la carcaise, chauffée à la température de la glace ; quand la carcaise contient trois ou quatre glaces, on la ferme et on la laisse refroidir lentement pendant deux jours environ, ce qui assure un recuit parfait des glaces.

Les dimensions des glaces coulées peuvent atteindre 4×8 mètres (Saint-Gobain, exposition de 1900). Leur épaisseur moyenne est variable avec la grandeur, mais égale au moins 8 millimètres.

Travail mécanique. — Les glaces refroidies sont ternes et rugueuses, en raison des ondulations que le rouleau a données à l'une des faces, et des aspérités (ou grains de sable) que l'autre face a prises sur la table à couler. Le travail des surfaces comprend les opérations suivantes : l'*équarrissage*, le *doucissage*, le *savonnage* et le *polissage*.

La glace, examinée avec soin, est affranchie de ses parties défectueuses, et même débitée, si elle est inutilisable entière, puis elle est scellée au plâtre sur une de ses faces pour être travaillée sur l'autre. Elle passe à la table à polir où se font toutes les opérations. Les glaces sont scellées sur une plate-forme horizontale, tournante, au-dessus de laquelle tournent deux plateaux frotteurs soutenus par un chariot qui se déplace sur des rails ; entre les glaces et les plateaux, on interpose d'abord du sable, qui dégrossit, puis de l'émeri de plus en plus fin, qui opère le savonnage ; la surface, encore mate et dépolie, est polie à la *potée*, matière rouge (Fe^2O^3) nommée encore *rouge d'Angleterre* ou *rouge de Paris* et obtenue comme résidu de traitement du sulfate ferreux. La glace, travaillée sur une face, est retournée, scellée à nouveau et travaillée sur la deuxième face ; puis elle est examinée et livrée.

Les perfectionnements qui ont fait de la glacerie une industrie très prospère, sont dus principalement à l'emploi des fours à gaz, et à l'emploi des outils mécaniques pour le travail des surfaces. Ainsi, tandis que le travail d'une glace, fait à la main, comportait en 1860, trois transports aux ateliers de doucissage, savonnage et polissage, et six scellements, ce même travail ne demande aujourd'hui que deux scellements et un retournement ; le temps employé à la confection d'une glace est tombé de cent quatre-vingts heures à cent-vingt. Ces grands progrès sont dus aux recherches de M. H. Biver de la compagnie de Saint-Gobain.

Fabrication d'un miroir. — Les glaces, parfaitement transparentes, sont employées comme vitres de luxe, pour les devantures de magasin, en particulier ; mais on les utilise aussi en miroiterie, en raison du dressage parfait des faces, qui donne des images sans aucune déformation. Pour rendre

les glaces réfléchissantes sous toutes les incidences, on les recouvre d'une mince couche métallique, d'étain, d'argent ou de platine.

Étamage. — L'étamage des glaces, exigeant l'emploi du mercure chauffé, est une opération très insalubre, aujourd'hui presque complètement remplacée par l'argenture. La Société de Saint-Gobain n'étame plus ses glaces.

Une feuille d'étain, entière, pesant environ 700 grammes au mètre carré, est déroulée sur la *pierre à étamer* (marbre ou glace), bien horizontale ; sur cette feuille on verse une couche de 3 à 4 millimètres de mercure très propre (25 kilos par mètre carré). D'autre part, on nettoie parfaitement la glace, sur la *table à fourbir*, et on place l'un de ses côtés, taillé en biseau, sur le bord de la couche de mercure. Par un mouvement de glissement, on amène la glace bien horizontalement sur le bain de mercure, et on presse avec des poids ; en opérant ainsi, on chasse toute bulle d'air qui pourrait s'interposer entre la glace et le bain, et on chasse l'excès de mercure ; on incline la table, le mercure s'écoule. Au bout de deux jours, on place la glace sur un égouttoir, pendant deux semaines ; enfin, on la place verticalement dans son *parquet.*

Argenture. — Les dangers que présente l'emploi du mercure ont amené, après les travaux de Liebig, Dreyton, Petitjean, Lenoir, le remplacement de l'étamage par l'argenture. Deux procédés sont suivis, celui à froid, au sel de Seignette (tartrate double de potassium et de sodium) ; celui à chaud, à l'acide tartrique, dit procédé Petitjean. Les glaces argentées donnent aux images une teinte jaunâtre assez désagréable, et le procédé Lenoir a pour but de faire disparaître ce défaut.

La glace est décapée avec soin, au blanc d'Espagne, puis à la potée d'étain ; elle est essuyée à la peau de chamois, rincée à l'eau distillée, puis recouverte d'une mince couche d'une liqueur contenant de l'azotate d'argent, de l'ammoniaque et de l'acide tartrique. La table à vapeur qui supporte la glace est alors portée à 35 degrés, et sous l'influence de l'acide tartrique, l'azotate d'argent est réduit, en laissant déposer une mince couche d'argent métallique. Au bout d'une demi-heure, on écoule le liquide, on rince à l'eau distillée, et on

verse sur la glace une liqueur de même composition, mais plus riche en acide tartrique; le dépôt s'augmente, on rince et on porte au séchage dans un atelier à 25°. La couche d'argent pèse 7 grammes au mètre carré. Le procédé Lenoir est alors applicable ; on verse sur la glace une solution de cyanure double de mercure et de potassium, qui devient en contact de l'argent du cyanure double d'argent et de potassium, tandis que du mercure forme avec l'argent restant un amalgame très réfléchissant. Cette opération est très rapide. Après séchage, on vernit, puis on passe une couche de minium pour protéger la surface argentée.

Platinage. — Le platinage des glaces peut se faire sur leur face antérieure, il donne une teinte sombre aux images, aussi est-il peu employé. Cependant, une très mince couche de platine permet d'obtenir les glaces laissant passer assez de lumière pour que l'on puisse voir à travers de l'intérieur d'un appartement, sans être vu du dehors. Le platinage par le procédé Dodé (1865) utilise la réduction du chlorure de platine par l'essence de lavande et le sous-acétate de bismuth.

Verre mince coulé et verre double. — Les nombreux usages du verre ont engagé les maîtres verriers à produire des feuilles de verre plus épaisses que les vitres ordinaires, donc plus résistantes, et cependant moins épaisses que les glaces, qui restent un article de luxe. La solution a été obtenue par deux procédés : le coulage et le soufflage. On nomme *verre mince coulé* des feuilles de verre dont l'une des faces est plane et polie, mais dont l'autre face présente des reliefs, des gaufrures, des ondulations, ou un grain; ces verres sont obtenus comme les glaces, par coulage sur une table et laminage par un rouleau; les dessins qui s'impriment sur le verre peuvent être obtenus par des creux correspondants gravés sur la table ou sur le rouleau. On nomme verre double des vitres épaisses dont la fabrication se fait comme celle des vitres ordinaires, par soufflage. Certaines verreries (à Charleroi notamment) produisent ces verres assez plans et assez parfaits pour qu'ils concurrencent les glaces comme vitres de luxe, et même comme miroirs.

FABRICATION D'UNE VITRE

Les vitres sont fabriquées par deux procédés, employant tous deux le soufflage : le procédé des *plateaux* et celui des *cylindres*.

Verre en plateaux. — La première forme des vitres fut celle de petits disques, et elle est devenue peu à peu le grand

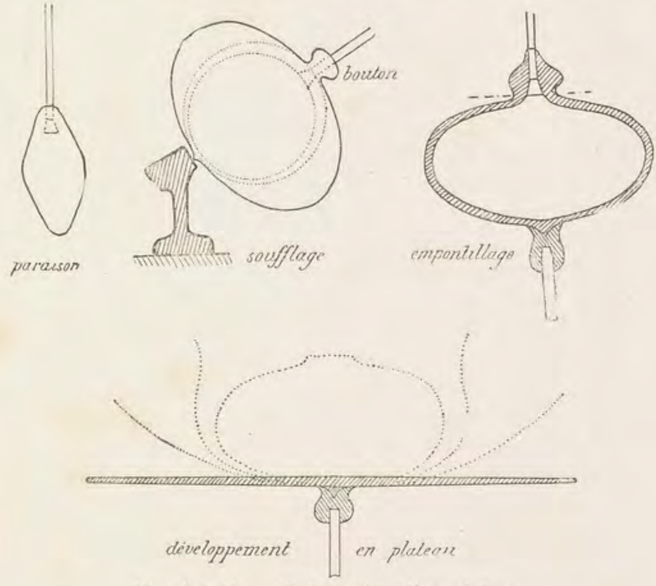


Fig. 8 à 11. — Préparation d'un plateau.

plateau dans lequel on découpe les vitres rectangulaires ; les plateaux sont désignés sous les noms de *verre à boudines*, ou *verre en couronne* (*crown-glass*) ou *verre lune* (*mondglass*). Ce procédé est presque abandonné, quoiqu'il donne des vitres ayant un égal éclat sur les deux faces, et des faces bien planes, parce qu'il donne trop de déchets au découpage des vitres ; dans un plateau de deux mètres, on ne peut trouver que des vitres de 60 centimètres de côté.

La fabrication d'un plateau est difficile ; elle emploie trois ouvriers, le *gamin*, le *souffleur* et le *finisseur*. Les figures 8 à 11

représentent les diverses phases de la préparation, depuis la *paraison* qui se fait par trois cueillages de verre, jusqu'au soufflage en sphère, à la formation du bouton ou *boudine*, à la mise en place du *pontil*, au décollement de la canne, et enfin à l'ouverture de la sphère qui se développe en plateau, opération qui s'effectue devant un grand ouvreau circulaire, par rotation rapide autour du pontil et après réchauffement de la pièce. Le plateau est ensuite recuit, puis débité au diamant.

Verre en cylindres. — Le procédé des cylindres, le seul usité, comporte la fabrication d'un cylindre, puis son étendage; le verre en cyindres est désigné aussi par les noms de *verre en manchons* ou *verre en tables*.

Le soufflage des manchons emploie deux ouvriers, le gamin et le souffleur, qui occupent une *place* devant l'ouvreau d'un four à bassin. L'outil à l'extrémité duquel se fait le soufflage est la *canne*, tube de fer de 1m,80 de long, de 3 centimètres de diamètre et de 1 centimètre de diamètre intérieur pesant environ 15 kilos (fig. 12); l'extrémité de la canne que l'on met dans la bouche est arrondie et polie pour que l'on puisse la tourner entre les lèvres; l'autre extrémité, nommée le *mors de la canne* sert à cueillir le verre; un manchon en bois long de 30 centimètres permet de tenir la canne. Les autres outils du souffleur sont le *marbre* ou bloc de bois creusé de cavités en demi-sphère; le *racloir*, pour rassembler le verre à l'extrémité de la canne, et des ciseaux pour percer des trous dans le verre ou agrandir ces trous en coupant le verre autour. Les verriers emploient encore une *palette* en fer, et des *pontils* ou tiges de fer de 1m,20 de longueur, qui servent à prendre les objets détachés de la canne. Pour l'usage de ces outils, il faut retenir que le verre se soude au fer chaud tandis qu'il n'adhère pas au fer froid;

Fig. 12. — Canne du verrier.

de plus, le fer froid *glace* le verre très chaud et en provoque la rupture suivant la ligne de contact, tandis que le fer rouge produit la même action sur le verre refroidi.

La confection d'un manchon comporte les opérations sui-

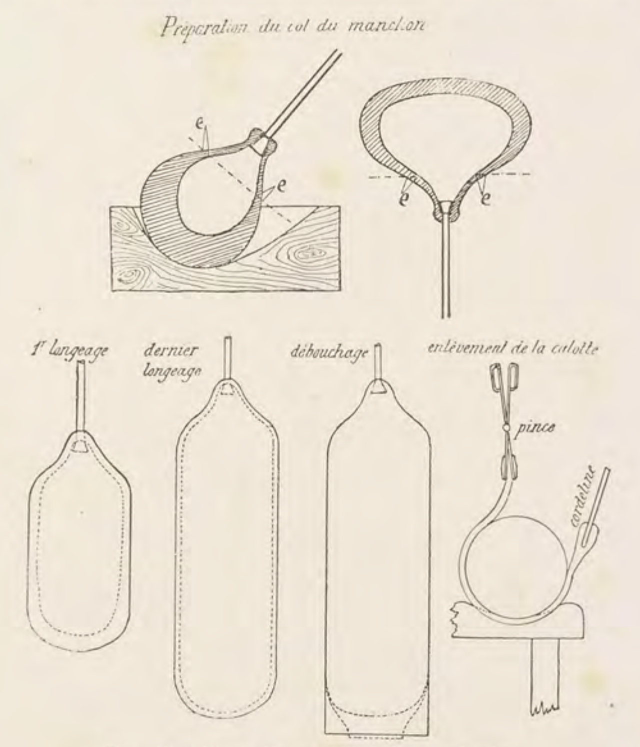


Fig. 13 à 18. — Préparation d'un cylindre.

vantes, que l'on peut suivre sur les figures 13 à 18 : ***cueillage*** du verre par le gamin, au moyen de la canne chauffée, et confection de la *paraison*, par plusieurs cueillages successifs, suivis chacun d'un léger soufflage sur le marbre mouillé d'eau; *préparation du col* par l'ouvrier, pour limiter la grandeur du manchon. A ce moment, la canne et la masse de verre pèsent.

près de 30 à 40 kilos, et l'ouvrier doit manœuvrer avec beaucoup d'adresse et de force pour produire le manchon, dont les dimensions moyennes sont $1^{m},20$ de long (rogné) et 22 centimètres de diamètre ; les grands manchons peuvent atteindre $1^{m},80$ de long et 40 centimètres de diamètre, avec un cube de 250 litres. La paraison, réchauffée, est soumise au *longeage*, ou extension du cylindre, sous l'action combinée du souffle et de la pesanteur, augmentée par le balancement que le souffleur fait subir à sa canne ; les longeages successifs, séparés par des réchauffements, égalisent l'épaisseur de la paroi du cylindre. Ensuite on procède au *débouchage* de la partie inférieure, en perçant le fond du cylindre avec une tige de fer, et en élargissant le trou formé, tout en tournant la canne. Le cylindre, posé sur un chevalet, est séparé de la canne soit au moyen d'un cordon de verre rouge, soit par un fil de fer rougi électriquement, comme on le fait en Amérique, et la canne est débarrassée de son verre de mors. L'ensemble de ces opérations demande six à huit minutes pour des manchons moyens.

Par le *fendage*, le manchon est coupé au diamant selon une génératrice du cylindre, puis il est porté dans un four circulaire à sole tournante où il s'échauffe graduellement ; au moyen d'une palette, un ouvrier le porte dans un four à étendre, chauffé au rouge-cerise, et le manchon se ramollit assez pour s'ouvrir ; au moyen d'un rable de bois, l'ouvrier achève de l'aplanir ; puis il pousse la vitre dans le compartiment de recuisson, qui est une *carcaise* très allongée, où les vitres séjournent quelques heures. Après examen, les vitres sont découpées aux dimensions du commerce.

Verre laminé. — La fabrication des vitres est réalisée, en Amérique, par le laminage du verre pâteux entre deux cylindres chauffés au gaz, et montés comme les cylindres des laminoirs métallurgiques. Le laminage est suivi de la recuisson.

Verre armé. — Sous les noms de *verre armé* ou *verre grillagé*, on fabrique en France des feuilles de verre dans l'épaisseur desquelles est disposé un grillage métallique, destiné à augmenter la résistance du verre et à éviter les projections d'éclats en

cas de rupture. Dans le procédé Appert, la table de coulée est mobile horizontalement ; l'appareil lamineur (fig. 19) comprend deux rouleaux réglés de façon à laisser, entre eux et la table, une distance égale, pour l'un à la demi-épaisseur du verre, pour

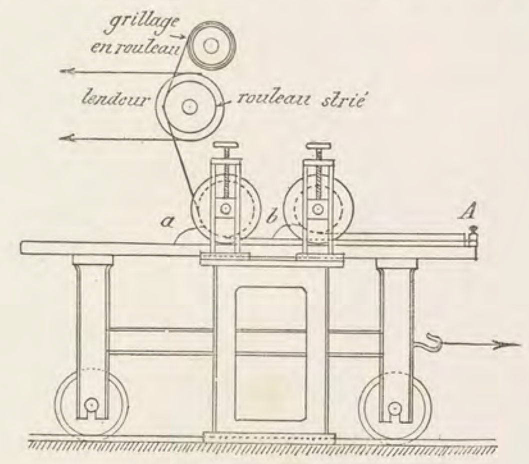


Fig. 19. — Appareil lamineur.

l'autre à cette épaisseur. On attache une toile métallique en A, puis on verse du verre en *a*, devant le cylindre bas, qui opère le laminage du verre et l'incorporation du treillage ; on verse alors du verre fondu en *b*, et le rouleau élevé opère le laminage définitif du verre.

FABRICATION D'UNE BOUTEILLE

Jusque vers 1870, les bouteilles étaient faites par soufflage libre ; depuis 1880, elles sont presque toutes faites par soufflage dans des moules, ce qui a réalisé un grand perfectionnement ; de plus, le soufflage à la bouche a été en partie remplacé par le soufflage au moyen de la pompe Robinet, ou au moyen de l'air comprimé (Appert).

Dans la fabrication simple, une *place* est occupée par quatre ouvriers, le *gamin*, le *grand garçon*, le *souffleur* et le *porteur*.

Le grand garçon prépare la paraison, en forme de poire allongée (fig. 20, 21), la réchauffe et la passe au souffleur; celui-ci l'introduit dans un moule en argile et souffle en tirant la canne vers le haut (fig. 22), pour former le col; puis il réchauffe le fond, l'appuie sur un pontil portant un peu de verre fondu (fig. 23). Après l'empontillage, la bouteille est détachée de la canne, sa bague est faite au moyen d'un filet de verre, ou par refoulement au moyen d'une pince; détachée du pontil, la bouteille est saisie par une pince, nommée *sabot*, et portée dans l'arche à recuire.

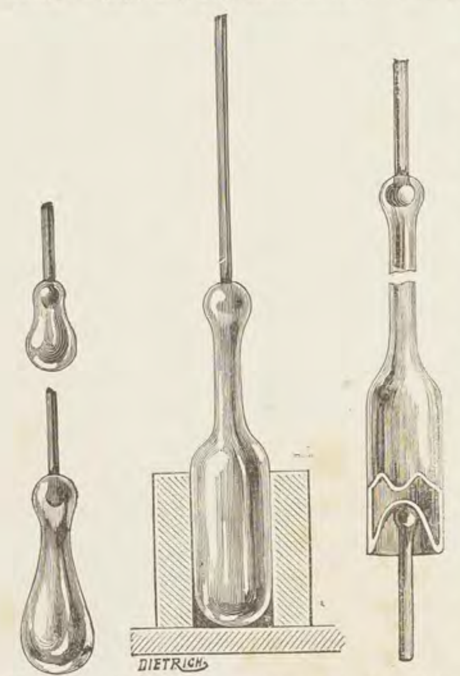


Fig. 20 à 23. — Fabrication d'une bouteille.

La fabrication par moulage total se fait au moyen de moules métalliques constitués de deux parties symétriques, montées à charnières et pouvant s'ouvrir en s'abaissant; certains moules sont faits de trois parties, l'une fixe pour le corps de la bouteille, les deux autres mobiles autour de charnières horizontales, pour le col; le fond du moule est un piston qui façonne le cul de la bouteille en se relevant. Afin d'éviter que la jointure des deux parties du moule laisse sur la bouteille une *couture*, le souffleur a soin de faire tourner le verre pendant le travail; et pour éviter que le moule *glace* le verre, on y

dispose un copeau ou une paille, dont la carbonisation donne un dépôt de noir de fumée dans le moule et empêche le contact immédiat du verre et du métal.

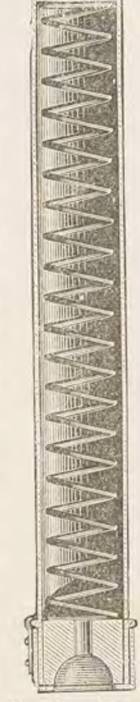


Fig. 24. — Piston de Robinet.

Un bon souffleur peut faire 75 bouteilles à l'heure pendant huit heures, et on conçoit la grande fatigue résultant pour les poumons d'un travail aussi rude; aussi est-ce un grand progrès que l'emploi des moyens de soufflage mécanique, la pompe de l'ouvrier Robinet (de Baccarat, 1821), ou l'air comprimé. Le *piston Robinet* (fig. 24) est un cylindre en cuivre, ouvert à une extrémité et fermé à l'autre; à son intérieur on place un ressort à boudin et un piston en bois percé d'un trou (fig. 24). En appuyant le piston sur la canne, et en pressant sur le cylindre, tout l'air de ce cylindre passe dans la canne, et sa pression est réglée par le jeu manuel du cylindre. Par ce *pistonnage*, on fabrique les bouteilles et les petits objets de gobeleterie; pour les objets plus volumineux, tels que manchons de verres à vitres, touries, grosses sphères pour verres de montres, l'ouvrier dispose de son souffle, dont il augmente la puissance en injectant par la canne dans la pièce en travail un peu d'eau ou d'alcool, liquides dont la volatilisation provoque l'expansion du verre. Dans le procédé Appert, l'air comprimé est pris sur une conduite, et dépensé au moyen d'un *manchon à souffler*, pièce conique qui se place sur la canne.

FABRICATION DE GOBELETERIE

Les articles de gobeleterie sont nombreux et divers; ils sont fabriqués avec des matières de choix, comme le cristal, ou avec des matières communes, comme la gobeleterie de restaurants, aussi existe-t-il plusieurs manières de les fa-

friquer. On emploie surtout les procédés de soufflage, combinés à ceux de moulage. Nous choisirons quelques types de fabrication.

Les équipes ou places, travaillant sur un pot, comprennent le *chef*, responsable, un *premier* et un *deuxième* souffleurs, un *carreur*, et *plusieurs gamins*.

Fabrication d'une pièce ouverte au feu. — Les phases suc-

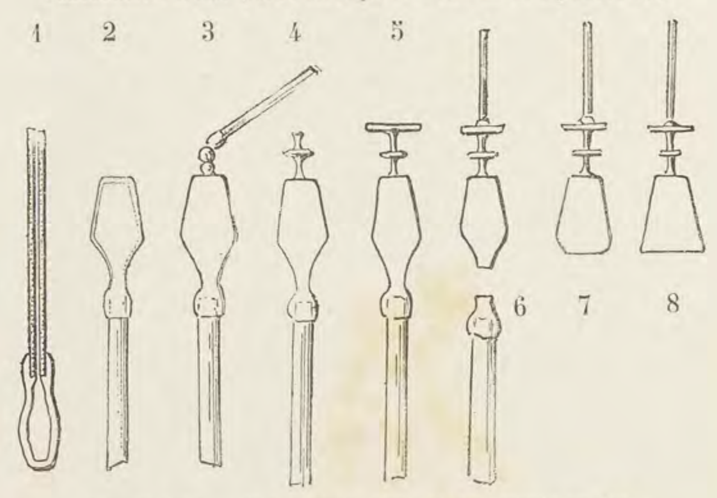


Fig. 25 à 32. — Fabrication d'une pièce ouverte au feu.

cessives de cette fabrication sont représentées par les figures 25 à 32.

Fabrication d'une pièce à calotte. — La paraison est soufflée et carrée dans un moule, ce qui permet d'obtenir des coupes identiques, puis la jambe et le pied sont posés. Le verre, détaché de la canne, est recuit et ensuite décaloté ou rogné. Cette opération se fait en posant le verre sur une tournette, devant une flamme de chalumeau à gaz, qui chauffe la circonférence suivant laquelle la calotte doit être détachée par contact d'un corps froid. Le verre rogné est *fletté*, c'est-à-dire usé sur un grès, puis il est *rebrûlé* au chalumeau, ce qui fond son bord et lui rend son éclat. La

fabrication à calotte, appliquée à Baccarat en 1866, a réalisé un grand progrès, en augmentant la production d'une place de verriers.

Fabrication d'une pièce moulée à la presse. — Cette méthode de travail ne peut être employée que pour les pièces ouvertes, tandis qu'on fabrique les pièces fermées par pistonnage ou par l'air comprimé. Pour mouler à la presse, on verse dans un moule la quantité de verre correspondant exactement à celle de l'objet, puis on abaisse, au moyen d'un levier, un piston ou noyau, qui presse la masse fluide et la force à épouser parfaitement la forme du moule. Cette opération faite, on retire la pièce avec un pontil portant un peu de verre, et on la rebrûle pour faire disparaître les petites aspérités formées au contact du moule.Le moulage permet d'obtenir, à très bon marché, des ornements en relief ou en creux, et en particulier les effets obtenus sur le cristal par la taille, mais à un degré de finesse beaucoup moindre.

FABRICATION DE PIÈCES DIVERSES

Le verre, étant une matière que l'on obtient à bas prix, et présentant des qualités de résistance et d'inaltérabilité assez grandes, est utilisé pour la confection de nombreux objets destinés aux usages domestiques (pièces de service, garnitures de toilette, etc.), à l'industrie (cuves pour acides, pour galvanoplastie, pour accumulateurs) et à la construction (briques de verre, tuiles de verre, dalles pour pavage). La plupart de ces pièces sont fabriquées par moulage à la presse comme il a été dit plus haut, dans des moules métalliques chauffés, et si ce n'était la nature de la matière en travail, on pourrait ne pas considérer ce travail comme une opération de verrerie.

Fabrication des tuyaux en verre. — Les tuyaux en verre utilisés à cause de leur parfaite étanchéité, pour canalisation de matières acides, pour isolement, sont fabriqués avec l'appareil de M. Appert, représenté par la figure 33. Le verre est coulé très fluide dans un moule en fonte fermé en bas par un

noyau conique; il forme, dans une rainure circulaire inférieure, un bourrelet qui le fixe au moule; très rapidement, au moyen d'un piston hydraulique, on soulève le noyau conique, qui pousse le verre fluide devant lui et calibre le tube inté-

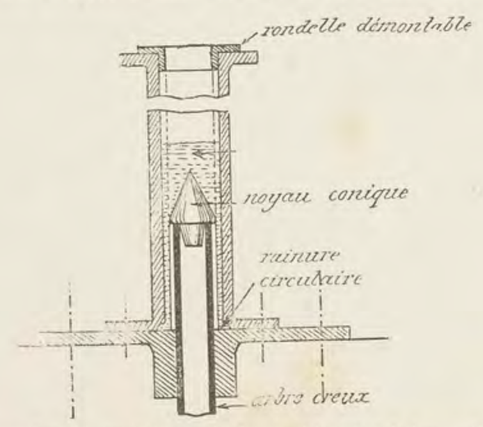


Fig. 33. — Partie supérieure de la machine à fabriquer les tuyaux.

rieurement; il suffit alors de faire descendre brusquement le noyau conique et d'ouvrir le moule, duquel le tube de verre se détache.

Les tubes pour manomètres de chaudières, pour travaux de laboratoire, pour thermomètres, sont fabriqués dans les verreries spéciales (verrerie Guilbert-Martin, à Saint-Denis-lès-Paris), et par un procédé tout différent. La paraison est faite avec un très grand soin, et est sensiblement conique; elle est fixée d'une part à la canne, et d'autre part à un pontil à fond plat, tenu par un gamin. En s'éloignant l'un de l'autre, le verrier et le gamin déterminent l'allongement du verre, en forme de tube; le calibrage est vérifié par un aide sur les indications duquel les deux ouvriers guident leur marche. La bande d'émail que portent certains tubes indicateurs est due à une masse de verre rouge ou blanc collée sur l'un des côtés de la paraison.

Fabrication de la pierre de verre. — La pierre de verre de

Garchey est une des plus nouvelles applications du verre à la construction. Elle est faite au moyen de déchets de verre et de verres communs, portés vers 1250° dans des moules réfractaires, placés dans un four à réchauffer. Par une chauffe prolongée, et en présence des déchets, la partie de verre qui se ramollit, éprouve la dévitrification qui lui fait perdre sa transparence. On soumet le moule à une forte pression hydraulique, les matières pâteuses prennent l'empreinte de ce moule, et il se constitue une sorte de béton de verre.

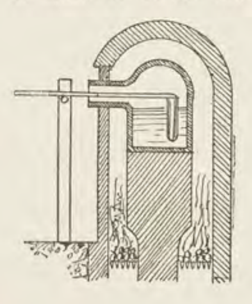
La pierre de verre, sous le nom de *céramo-cristal*, est une pierre très dure, très résistante à l'usure, et supportant des charges d'écrasement plus de trois fois égales à celles que supporte le granite ; comme elle peut être obtenue sous toutes formes et dimensions, et comme elle est inaltérable, son emploi se généralise rapidement. Fabriquée avec des verres colorés, puis polie, cette pierre imite parfaitement les marbres.

Fabrication d'une lentille d'optique. — Le crown-glass et le flint-glass, qui entrent dans la confection des lentilles achromatiques doivent posséder une composition bien déterminée qui assure leur pouvoir réfringent et leur pouvoir dispersif; mais là ne réside pas la difficulté de leur préparation. Cette difficulté est toute entière dans l'obtention de masses d'une certaine étendue et bien homogènes, sans bulles ni stries, sans fils, et surtout sans différences de densité entraînant des différences de réfringence. La préparation du flint est plus difficile que celle du crown, parce que le plomb, qui forme souvent un tiers de la composition, tend à couler au fond du creuset en raison de sa grande fluidité et de sa grande densité.

Depuis les beaux travaux de Guinand (1830), de Feil (1845) et de Bontemps à Choisy-le-Roi, la préparation des lentilles se fait ainsi.

Fusion. — La masse est fondue dans un creuset couvert, placé seul sur la banquette d'un four circulaire chauffé à la houille (fig. 34). Après fusion, on introduit dans le creuset un agitateur formé par une barre à crochet supportant un cylindre d'argile ; on agite, puis on laisse le cylindre d'ar-

gile, et on ferme le four. Cinq heures plus tard, on brasse à nouveau plusieurs fois, les bulles se dégagent, la masse se fluidifie et on brasse jusqu'à ce que la masse devienne un peu consistante par refroidissement. On enlève le cylindre d'argile et on laisse refroidir pendant une semaine. Au bout de ce temps, on brise le creuset, on étudie la masse et on la débite de façon à conserver les parties bien homogènes et sans défauts.



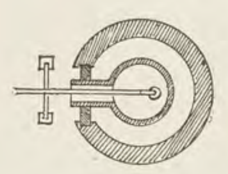


Fig. 34.
Four pour flint-glass.

Travail mécanique. — Les morceaux de verre, grossièrement arrondis, sont placés dans un moule réfractaire, puis ramollis dans un moufle ; ils prennent la forme du moule et donnent les lentilles brutes. Celles-ci sont soumises au dégrossissage, au doucissage et au polissage sur des pièces de forme, en cuivre ou en verre dur et dont la concavité ou la convexité correspondent aux courbures des faces de la lentille.

Les deux lentilles du sidérostat du Palais de l'Optique (Exposition de 1900) avaient $1^{m},25$ de diamètre ; celle en crown pèsait 220 kilos, celle en flint 412 kilos.

DÉCORATION DU VERRE

Le verre se prête, aussi bien et mieux même que toute autre substance, à la décoration, et les effets que l'on peut produire sont très variés. Nous grouperons les modes de décoration, de la façon suivante.

Décoration dans la masse. — L'addition à la masse vitrifiable de certains oxydes métalliques donne des *verres colorés*, les *aventurines* (Voy. p. 12 et 13) ; la réunion de deux ou plusieurs verres fondus, de couleurs différentes, dans un même creuset, donne les *verres marbrés*.

Si on trempe une paraison de verre blanc dans un verre coloré, et si on souffle un objet, on obtient un *verre doublé*, c'est-à-dire dont une des faces est colorée sur une faible épaisseur ; au moyen de vitres doublées ou triplées, dont on attaque les surfaces colorées par un bain d'acide fluorhydrique, on obtient des effets en deux ou trois couleurs, très recherchés comme imitation de vitraux, en raison de leur bon marché. Ces vitres s'obtiennent aussi avec le verre *plaqué*, obtenu en saupoudrant une vitre de verre coloré pulvérisé, et en fonpant cette poudre.

Le *verre filigrané* s'obtient en entourant des baguettes de verres colorés, avec une paraison de verre incolore, puis en réchauffant le tout et en le travaillant.

Sous le nom d'*opaline*, on désigne des verres d'un blanc laiteux, contenant du spath fluor (fluorure de calcium), préparés par laminage, et servant comme plaques de revêtement ; l'opaline, décorée ou imprimée, tend à remplacer la tôle émaillée pour les annonces, les affiches, les avis des gares de chemin de fer.

Décoration par la forme. — La plasticité du verre permet de lui faire épouser facilement la forme des moules, et par ce moyen les reliefs sont obtenus sans frais ; c'est ainsi qu'on fabrique les *vitres cannelées*, les vitres en verre mince coulé, présentant des reliefs, les objets de verre blanc pour gobeleterie, etc. Mais le procédé qui donne les meilleurs effets est la *taille*, le véritable mode de décoration du cristal. Par la taille, on remplace les surfaces courbes obtenues à chaud, par des surfaces planes, dont les rencontres donnent des lignes droites ; chaque ligne devient l'arête d'un prisme, et la lumière, entrant par une facette pour sortir par la facette voisine, est colorée des tons de l'arc-en-ciel ; on dit que le cristal jette des feux. La taille comporte quatre opérations principales : l'ébauche, faite sur une roue de fonte avec interposition de sable et d'eau ; la taille à la roue de pierre ; le polissage et le passage en potée.

Décoration à la surface. — Quelques effets peuvent être obtenus par le verrier, sous le nom de *verre craquelé*, en trempant vivement sa paraison dans l'eau, puis en soufflant la pièce : les craquelures produites par refroidissement superficiel se conservent pendant le travail. Mais les plus nombreux

effets sont obtenus par la *gravure*, qui peut se faire, soit au sable, soit à la roue, soit à l'acide fluorhydrique.

Pour *graver au sable*, on recouvre le verre d'une vignette en carton ou en métal, et on projette sur lui un violent jet de sable, entraîné au moyen d'un courant d'air ou de vapeur; chaque grain de sable raie le verre et dépolit la surface.

La *gravure à la roue* se fait comme la taille, mais avec des roues de cuivre très petites, et les divers degrés d'opacité ou de transparence s'obtiennent en interposant de la pierre ponce, ou en mouillant avec l'huile et l'émeri ; les effets ainsi obtenus sont très variés et très artistiques.

La *gravure à l'acide* s'obtient en plongeant le verre, protégé par un vernis, sauf aux points à graver, dans un bain d'acide fluorhydrique et de fluorure alcalin (Voy p. 25) ; les dessins sont maintenant préparés par la méthode d'impression et de décalque de M. Kestler, qui permet de reproduire tous dessins ou photographies.

Enfin, par un dépôt sur le verre de couleurs vitrifiables, on produit la *peinture sur verre*, employée pour vitraux, pour panneaux décoratifs, ou le *verre imprimé*; ce dernier procédé se prête à la reproduction mécanique de tous dessins ou photographies.

FABRICATIONS PARTICULIÈRES

Le verre constitue la matière première de nombreux objets, très différents, tels que les imitations de pierres précieuses, les perles de verres, massives ou creuses, les petits cubes pour mosaïque, les yeux artificiels, les verres de montre. Le filage du verre fondu donne des fils susceptibles d'être tissés, ou d'être employés pour la confection de mèches de lampes. Une mention doit être réservée aux *verres artistiques*, et au *verre malléable*.

Toutes ces fabrications, spéciales, sont réalisées dans des ateliers particuliers, et sont l'œuvre de maîtres verriers, dont la science égale la réputation ; citons les mosaïques de René Martin, les verres artistiques de Gallé et de Daum (de Nancy).

Tôle émaillée et fonte émaillée. — L'émaillage des objets de cuisine, de toilette, des formes à sucre, est le dépôt, sur le métal, d'une couche vitreuse, presque inaltérable à l'air ou aux acides. La difficulté de l'émaillage réside dans l'inégale dilatation de la pièce et de l'émail qui peut s'écailler ; pour la fonte, il faut aussi craindre le dégagement de petites bulles gazeuses pendant la chauffe au four à émailler.

Pour émailler la tôle, on la décape à l'acide sulfurique étendu, on saupoudre d'un émail transparent que l'on fond au moufle ; sur ce *contre-oxyde*, on pose par trempage dans une barbotine une deuxième couche d'émail, et on vitrifie au feu. Pour émailler la fonte, on verse dans le vase une barbotine d'argile, de sable, de borax et de feldspath, on sèche à l'étuve pendant une journée, puis on saupoudre avec l'émail définitif (à l'oxyde d'étain), et on vitrifie au feu.

Les objets ainsi fabriqués remplacent avantageusement les ustensiles en zinc, en tôle émaillée et même les vases de poterie ou de terre toujours assez fragiles.

STATISTIQUE DES VERRES ET CRISTAUX

Historique. — Malgré l'importance que le verre possède actuellement pour la confection des objets les plus usuels, tels que les gobelets, les bouteilles, les vitres, et les miroirs, on est surpris de voir avec quelle lenteur les industries verrières se sont développées, durant le cours des siècles.

Les premiers verriers furent les Égyptiens, qui connaissaient le verre en l'an 2000 avant Jésus-Christ, et qui furent pendant longtemps, avec les Sidoniens, les seuls verriers du monde. C'est de l'Égypte que partirent les initiateurs des Romains et des Vénitiens. Dans l'Empire romain, les verreries furent prospères et produisirent des vitres à plateaux, et de petites glaces coulées. Au moyen âge, les verreries vénitiennes subsistèrent seules ; et peu à peu s'établirent, en suivant les régions forestières, les verreries de Bohême et d'Angleterre, vers 1600. De la Bohême, les verriers gagnèrent la vallée de la Meuse et Charleroi ; ils y créèrent, vers 1700, des usines encore très prospères.

Les verreries françaises paraissent s'être installées pendant la Renaissance, par l'arrivée d'ouvriers transfuges de Venise, aussi par le voisinage des verreries de la Meuse; les belles verreries normandes ont une origine plus difficile à établir. Les objets en verre furent d'abord des verrières d'église (dès le XIe siècle), puis des vitres (fin XVIe) qui remplacèrent lentement les vitres en papier enduit de térébenthine; mais ce n'est qu'au XVIIIe siècle que se généralise l'emploi de ces vitres, et celui des objets de gobeleterie, qui jusque-là étaient des objets de luxe. Remarquons que la fondation de l'usine de Saint-Gobain, en 1688, et de quelques autres usines, a été en grande partie cause des progrès qui ont mis le verre à la portée de toutes les classes de la population. Aujourd'hui, le verre est devenu indispensable, et les industries verrières sont d'une importance capitale, pour la France en particulier.

Données géographiques. — Les conditions qui déterminent la prospérité d'une verrerie sont l'approvisionnement en matières premières, la facilité de la vente d'une matière dont l'emballage et le transport sont onéreux, enfin l'obtention de la main-d'œuvre, qui joue encore un rôle prépondérant en verrerie. Les matières premières sont le sable, existant à peu près partout, les sels de soude, livrés par la grande industrie chimique, à des prix indépendants des distances, et les combustibles. Les combustibles ont guidé, tout d'abord, pour l'établissement des verreries anciennes; les unes étant forestières, comme celles des Vosges, de Saint-Gobain, du Jura et de la Normandie; les autres étant proches des houillères, comme celles du Nord, de Carmaux, de Blanzy.

Des verreries se sont depuis installées, soit aux centres de consommation, comme celles de Saint-Galmier, et celles de Reims, pour la fabrication des bouteilles d'eau minérale ou des champenoises. Enfin, signalons les verreries avoisinant les grandes villes, qui leur fournissent les déchets, et qui permettent un écoulement facile des produits; telles sont les verreries parisiennes (Saint-Denis, Vitry, Choisy-le-Roi), les verreries de Marseille et de Bordeaux.

Comme il existe en outre des usines éparses sur le territoire, on peut dire que les verreries existent un peu partout,

quoique étant plus réunies dans le Nord (40 usines), dans le Rhône et la Loire (20 usines).

Données économiques. — Les verres et cristaux donnent lieu à un commerce extérieur très important, dont les statistiques peuvent être résumées ainsi (les chiffres se rapportent à la période décennale 1890-1900 ; ils sont arrondis).

Commerce spécial (Verres et cristaux).

IMPORTATIONS			EXPORTATIONS.	
Tonnes.	Millions.	Années.	Tonnes.	Millions.
17 000	11	1890	107 000	27
20 000	14	1890-1893	100 000	24
28 000	15	1894	85 000	22
25 000	16	1899	108 000	31

Commerce spécial (Glaces). — Les importations étant nulles, les exportations ont été, en 1890, de 5 800 tonnes valant 8 millions de francs ; ces exportations sont descendues, en 1893, à 3 300 tonnes valant 4 millions et demi, pour croître et atteindre, en 1899, 5 600 tonnes.

Les principales transactions ont lieu avec l'Angleterre, la Belgique, l'Allemagne, l'Italie et les États-Unis. Pour la période décennale 1890-1899, elles se résument ainsi (les nombres fournis se rapportent aux *verres*, aux *cristaux*, et aussi aux *poteries*, qui ne font pas l'objet d'un titre spécial dans les *Annales du Commerce extérieur*) (1).

	Importations.	Exportations.
Angleterre...........	2-8 millions.	11-17 millions.
Belgique.............	5-11 —	15-12 —
Allemagne...........	6-15 —	2-4 —
Italie................	3-2 —	1-17 —
Etats-Unis		3-4 —

Droits de douane. — Les droits qui frappent les produits étrangers à l'entrée en France sont calculés d'après un double tarif ; l'un, dit *tarif minimum*, est applicable à tous les produits originaires de pays qui accordent un traitement de faveur

(1) Voy. les *Chaux et Ciments* ; les *Produits céramiques*, p. 90.

aux produits français; l'autre, le *tarif général*, est applicable dans les autres cas. Le tarif minimum est appliqué à tous les produits européens, sauf ceux originaires du Portugal.

Les droits désignés par ces tarifs peuvent être augmentés de deux surtaxes: l'une, dite *surtaxe d'origine*, est due par les produits d'origine européenne qui ne sont importés d'ailleurs que du pays de production; l'autre, dite *surtaxe d'entrepôt*, est due par les produits d'origine extra-européenne, importés des entrepôts d'Europe. En raison de la complication qui résulterait de l'indication de ces surtaxes, nous donnerons seulement les droits principaux. (Les lettres B ou N dans le tableau indiquent les poids *brut* ou *net*.)

		TARIF général.	TARIF minimum.
Glaces (1) ayant moins d'un demi-mètre carré......	100 k. N.	25	20
Glaces (1) ayant de un demi à un mètre carré..... brutes.	mèt. carré.	1,25	1
Glaces (1) ayant de un demi à un mètre carré..... polies.	mèt. carré.	4	3
Glaces (1) ayant plus d'un mètre carré .... brutes.	mèt. carré.	3	2
Glaces (1) ayant plus d'un mètre carré .... polies.	mèt. carré.	5	3,50
Verres brutes coulés ou moulés avec ou sans stries, de toutes formes et dimensions pour vitrages, pavements, tuyauteries, toitures, isolateurs...	100 k. B.	6	4,50
Gobeleterie de verre et de cristal (2)... unie.....	100 k. B.	6	4
Gobeleterie de verre et de cristal (2)... taillée et gravée..	100 k. N.	20	16
Gobeleterie de verre et de cristal (2)... décorée..	100 k. N.	35	28

(1) Les désignations *glaces* et *verres à vitres* s'entendent ainsi :

Les glaces sont obtenues par coulage; elles ont une épaisseur supérieure à 4 millimètres et pèsent 18 kilogrammes en moyenne au mètre carré. Leurs faces sont parfaitement dressées et les bulles d'air qu'elles peuvent contenir sont rondes.

Les verres à vitres sont obtenus par soufflage ou laminage; les bulles contenues sont allongées. Les épaisseurs moyennes sont, en millimètres :

Pour le verre	simple........................	1,7
—	double	2,5
—	triple.........................	3,4

Les *verres coulés à reliefs* ont une épaisseur qui varie de 3 à 6 millimètres.

(2) Cette catégorie comprend également les objets de gobeleterie

			TARIF général.	TARIF minimum.
Verres à vitres (1)	ordinaires		7-12	5-10
	colorés (2)	100 k. N.	25	20
	vitraux	100 k. N.	120	100
Verres de montres, de pendules.			20-180	15-150
Verres de lunettes et d'optique.			30-180	15-150
Bouteilles, pleines ou vides		100 k. B.	4,5	3,50
Groisil ou verre cassé		100 k. B.	exempt.	exempt.
Objets en verre non dénommés.		100 k. N.	40	30

Des tarifications spéciales sont appliquées aux *vitrifications*, qui comprennent les émaux en masses ou en tubes, les grains percés ou taillés (perles), le verre filé, les pierres à bijoux, les fleurs et les ornements en perle, les mosaïques sur papier, les lampes électriques à incandescence.

Les *pierres gemmes*, brutes ou taillées, sont exemptes de droits.

Statistique du travail. — Le nombre de personnes occupées dans les industries de la verrerie, la miroiterie, l'émaillerie est, en France, de 40000; la taille des pierres précieuses en occupe 4300; et la fabrique de joaillerie fine 1300.

Les ouvriers se répartissent ainsi dans les diverses professions comprises sous les appellations précédentes :

Professions.	Personnes.	Proportion p. 100 dans les départements où elle est maxima.
Gobeleterie	11.600	Moselle, 23 ; Seine, 18.
Verrerie à bouteilles.	10.900	Nord, 25 ; Loire, 18.
Verrerie en général, flaconnerie	4.800	Seine-Inférieure, 28.
Taille des pierres précieuses	4.300	Jura, 56 ; Ain, 22 ; Seine, 15
Vitreries	4.000	Nord, 86.
Glacerie (glaces sans tain)	2.700	Aisne, 39 ; Nord, 29.
Fabrique de joaillerie fine	1.300	Seine, 96.
Miroiterie, glacerie	1.200	Seine, 66.
Miroiterie, verrerie d'art	800	Seine, 82.
Vitraux	800	Seine, 47.
Emaux	800	Seine, 67.
Souffleur, fileur de verre, bijouterie en verre	600	Seine, 44.
Ballons pour lampes	500	Seine, 69.
Verres d'optique	500	Meuse, 77.

en *demi-cristal*. Ces verres contiennent de la chaux, de l'oxyde de plomb et souvent de la baryte ; ils sont travaillés par moulage.

(1) Voy. note 1, page 68.

(2) Les *verre cathédrale*, nommés aussi *verres ondés* ou *verres*

Les autres professions, telles que le bombage du verre, la taille des cristaux, le bouchage des flacons à l'émeri, la fabrication des cadrans de montre ou de pendule occupent chacune moins de 500 ouvriers.

Parmi les usines verrières, le nombre de celles qui occupent plus de 500 ouvriers est de 18, dont 7 pour la gobeleterie, 6 pour la bouteille, 3 pour la vitrerie, et 2 pour la glacerie.

Signalons la cristallerie de Baccarat (Meurthe-et-Moselle) qui occupe 2500 ouvriers, et les glaceries de la Société de Saint-Gobain, au nombre de sept, à Saint-Gobain et Chauny (près la Fère, Aisne), à Cirey (Meurthe-et-Moselle), à Montluçon (Allier), à Stolberg et Mannhein (Allemagne) et à Pise (Italie).

Opérations insalubres. — Les industries verrières ont été, pendant longtemps, considérées comme étant des plus insalubres, autant parce que le travail, naturellement pénible, était effectué dans des conditions défectueuses, que par la négligence des verriers, dont l'hygiène était mauvaise. Aujourd'hui, grâce aux nombreux perfectionnements apportés par la science, et grâce aux généreuses initiatives des maîtres verriers, on peut dire que les conditions hygiéniques des verriers sont au moins aussi bonnes que celles de la plupart des ouvriers d'industrie.

Dans la fabrication même, les perfectionnements ont porté sur l'emploi du soufflage mécanique par l'air comprimé, sur l'examen des ouvriers susceptibles de contaminer les équipes par l'emploi des mêmes cannes, sur la réglementation du travail des femmes et des enfants. Le soufflage à la bouche provoque des accidents divers, selon que l'ouvrier souffle *avec la poitrine*, ou *avec la bouche*; dans le premier cas, le plus rare, il peut en résulter de l'emphysème pulmonaire; dans le second, il se produit une dilatation du canal de Sténon (canal de la glande salivaire parotidienne) qui donne le stigmate professionnel nommé *joues cassées*.

Les principaux accidents auxquels sont exposés les ouvriers

anglais, souvent très peu colorés, font partie de cette catégorie. Ils rappellent les anciens carreaux et vitraux du moyen âge et des XVIIe et XVIIIe siècles.

verriers sont dus principalement aux opérations qui suivent la fabrication des verres et cristaux. Ces accidents se nomment le *saturnisme*, l'*hydrargyrisme*, et l'*arsenicisme* professionnels, selon qu'ils sont provoqués par le plomb, le mercure, l'arsenic, et leurs composés.

Le saturnisme a été signalé chez les fabricants de potée, les polisseurs de cristal et de strass, les polisseurs de glaces, les lapidaires, les émailleurs et fabricants de tôle émaillée, les fabricants de verre mousseline. Dans tous ces cas, les intoxications sont dues aux particules très tenues de plomb, de litharge ou de minium, qui se détachent des meules, des outil à polir, ou des émaux, et qui se répandent dans l'atmosphère. En plus des palliatifs ordinaires, le principal remède à ce mal est le remplacement, pour le polissage, de la potée d'étain par l'acide métastannique, proposé par M. Guéroult, et employé dans tous les grands ateliers de polissage, à Baccarat en particulier.

L'hydrargyrisme fait surtout sentir ses terribles effets chez les ouvriers employés à l'étamage des glaces, et il disparaît complètement par l'emploi des procédés d'argenture signalés plus haut. Quant à l'arsenicisme, il est peu grave ; on l'a remarqué chez les ouvriers qui fabriquent la fausse malachite, chez ceux qui préparent les glaces et parmi les ouvriers qui nettoient les fours. Dans la fabrication des glaces, l'arsenic est ajouté, nous le savons, dans la proportion d'un millième environ, à la matière vitrifiable, et l'odeur d'ail qui se dégage à ce moment montre bien la volatilisation de ce produit toxique, des quatre cinquièmes à peu près ; de là les accidents observés.

LE DIAMANT ET LES GEMMES

Les *gemmes* ou *pierres précieuses* sont des minéraux naturels que leur beauté et leur éclat font rechercher pour la confection de parures et d'ornements. Les unes sont transparentes, incolores ou colorées, s'éclairent brillamment sous la lumière, et jettent des feux; les autres sont irisées, ou nuancées de teintes diverses qui sont du plus joli effet. Toutes sont inaltérables à l'air, assez dures pour ne pas être rayées par le contact des corps ordinaires, même des corps métalliques, ce qui permet de leur donner, par un travail soigné, une taille méthodique, et ce qui assure leur conservation.

Les pierres précieuses sont, au point de vue chimique, de composition très variée, et si la plupart sont cristallisées, beaucoup d'autres ne le sont pas. Nous examinerons successivement les propriétés physiques et chimiques de ces pierres.

Dureté. — La dureté relative des corps est définie par les expériences suivantes. Si un corps A, taillé en pointe, traîné sur un corps B avec une pression suffisante, raye B, on dit que A est plus dur que B; l'inverse n'a pas lieu. De plus, si A raye B, il raye tous les corps rayés par B.

La dureté s'apprécie au moyen du *scléromètre*, petit chariot qui porte la lame cristalline, et qui se déplace horizontalement sous l'action d'un poids; sur la lame s'appuie une pointe d'acier, par exemple, fixée à l'extrémité d'un fléau et contrebalancée par un poids; on appuie la pointe contre la lame, on met le chariot en mouvement, et on ajoute des poids pour charger la pointe, jusqu'à ce que la lame soit rayée; ces poids indiquent la dureté de la lame.

L'échelle de dureté la plus employée est celle de Mohs, comprenant les minéraux suivants :

1. Talc.
2. Gypse.
3. Calcite.
4. Fluorine.
5. Apatite.
6. Orthose (acier).
7. Quartz.
8. Topaze.
9. Corindon.
10. Diamant.

Un corps de dureté 8,5 est rayé par le diamant et le corindon, mais il raye la topaze et tous les termes qui la précèdent. L'opale noble est la moins dure des gemmes, aussi on lui donne des formes sphériques, pour son emploi en joaillerie (1).

Coloration. — Un grand nombre de gemmes ont des variétés pures, incolores, et des variétés plus ou moins colorées par des oxydes métalliques divers; toutes sont parfaitement transparentes. D'autres gemmes, comme l'opale, qui est colloïde, présentent une transparence atténuée, et donnent des reflets irisés. Enfin, certaines sont opaques, ou sont formées de veines opaques, translucides, de couleurs différentes et dont l'effet est très joli; de ce nombre sont les onyx et les agates.

L'état cristallin de certaines gemmes est tel que les directions sous lesquelles la lumière traverse le cristal ne sont pas identiques (substances anisotropes), de sorte que la coloration paraît elle-même différente sous les diverses incidences; on dit la pierre *dichroïque* (deux couleurs). La tourmaline est nettement dichroïque, paraissant brun foncé ou bleu dans un sens, brun pâle ou incolore dans l'autre.

(1) La dureté des corps simples est expliquée ainsi par M. C. Benedicks.

Appliquons aux métaux la loi des gaz d'Avogadro, nous en concluons que la pression exercée dans un corps simple par ses molécules est proportionnelle au nombre des molécules contenues dans un même volume, c'est-à-dire proportionnelle au rapport

$$\frac{\text{poids spécifique}}{\text{poids atomique.}} = \text{A}.$$

Cette pression est cause de la dureté.

Appliquée aux métaux et au diamant, cette explication se justifie, comme le prouvent les nombres suivants :

Fer : $\text{A} = \frac{7,7}{56} = 0,137.$

Diamant : $\text{A} = \frac{3,5}{12} = 0,29.$

Or les coefficients de dureté, *observés*, sont 0,137 pour le fer et 0,30 pour le diamant.

Le diamant doit donc sa grande dureté à sa densité assez élevée, et surtout à son faible poids atomique, 12.

Comme la coloration des gemmes est une des propriétés les plus évidentes, nous donnerons un tableau indiquant, par couleurs, les principales pierres précieuses (le nom entre parenthèses indique la substance type dont la gemme n'est qu'une variété).

Pierres incolores. — Diamant, cristal de roche ou *caillou du Rhin* (quartz), topaze du Brésil.

Pierres jaunes. — Opale de feu, topaze, topaze orientale (corindon), grossulaire (grenat), béryl (émeraude vert jaunâtre), zircon.

Pierres roses. — Rubis balai (spinelle), cornaline (calcédoine rouge jaunâtre).

Pierres rouges. — Rubis (corindon), rubis spinelle (spinelle), opale de feu, topaze. Dans ce groupe se placent les grenats : l'almandin ; le pyrope, rouge-sang ; le grossulaire, rouge-brun ; le grenat oriental, rouge-feu ou violacé ; l'hyacinthe, rouge orangé ; le zircon.

Pierres vertes. — Emeraude, émeraude orientale (corindon), chrysoprase (calcédoine), grossulaire (grenat), zircon.

Pierres bleues. — Saphir (corindon), saphirine (calcédoine bleu clair), *aigue-marine* (émeraude), turquoise.

Pierres violettes. — Améthyste (quartz), améthyste orientale (corindon).

Pierres diverses. — Dans ce groupe, plaçons les opales, l'agate, l'onyx, les variétés colorées de diamant, les variétés de quartz enfumé, la tourmaline et le zircon brun.

Réfringence. — Les gemmes transparentes possèdent, comme tous les milieux transparents, la propriété de modifier la lumière qui les traverse. L'expérience simple qui montre cette modification consiste à faire tomber sur un prisme de verre ou de cristal un rayon lumineux ordinaire ; la lumière est déviée à son entrée dans la première face du prisme, puis à sa sortie par la deuxième face, et si on la reçoit sur un écran, elle montre un ensemble de colorations nommées couleurs du prisme, ou *spectre*, couleurs que l'on retrouve dans l'arc-en-ciel. Par la taille des gemmes suivant des facettes planes, on forme autant d'arêtes de prismes qu'il y a de rencontres de faces deux à deux, et on multiplie ainsi les jeux de lumière.

La déviation inégale subie par les radiations colorées est la cause de la séparation de ces couleurs dans la lumière blanche, elle se nomme la *dispersion* ; or, si cette dispersion est grande, les couleurs apparaîtront plus distinctes, moins chargées de teintes voisines et par suite de blanc, donc elles seront pures et très belles. C'est ce qui arrive pour les gemmes à grand pouvoir dispersif; et le diamant présente cette double propriété à un haut degré.

Un autre phénomène vient encore augmenter les feux d'une pierre précieuse. Quant la lumière passe de l'air dans un milieu réfringent, elle est déviée de telle façon que le rayon lumineux se rapproche de la normale (perpendiculaire à la surface réfringente). Par conséquence, puisque la lumière parcourt un même chemin dans les deux sens indistinctement, quand la lumière sort de la pierre, elle passe du milieu réfringent dans l'air, et s'écarte de la normale. Dans cette dernière expérience, le rayon sortant ne peut faire, avec la normale, un angle supérieur à l'angle droit, et le rayon intérieur qui l'a fourni ne peut faire, avec la normale, un angle supérieur à une certaine valeur limite (nommée *angle limite*), qui est de beaucoup inférieure à l'angle droit. Ainsi, pour le diamant, cet angle, calculé sur l'indice de réfraction 2,42, est égal à 24°24'. Un rayon se présentant à la face de sortie sous un angle supérieur à l'angle limite ne peut donc sortir, il reste dans la pierre, en subissant sous la face où il s'est présenté une *réflexion totale*, c'est-à-dire une réflexion parfaite, ne lui enlevant aucun éclat.

Un rayon lumineux, qui est entré dans un diamant, ne peut en sortir qu'à la condition de se présenter à une face sous un angle inférieur à 24°24'. Si cela n'a pas lieu, le rayon est rejeté dans le diamant, jusqu'à ce qu'il trouve une face avec laquelle il fasse un angle assez petit ; alors il sort, et il est coloré. L'étude des conditions d'émergence dans les prismes montre qu'aucun rayon lumineux ne peut sortir d'un prisme si l'angle de celui-ci est au moins double de l'angle limite ; il suffit donc que l'angle de la culasse d'un brillant, par exemple, soit égal à 49 ou 50°, pour qu'aucun rayon lumineux ne puisse sortir par cette culasse, c'est-à-dire en arrière du brillant ;

ainsi rejetés en avant, les rayons sortent par les facettes antérieures, quelle que soit leur provenance, ce qui fait dire qu'un brillant ramasse et concentre la lumière, puisqu'il reçoit cette lumière de tous les côtés, et la rejette en avant de lui, avec un éclat incomparable.

Ces phénomènes se produisent avec plus ou moins d'intensité dans toutes les pierres de joaillerie, naturelles ou artificielles, mais ils sont incomplets ; dans les strass par exemple, la réflexion totale sur les facettes postérieures ne se produit que très imparfaitement, et on arrive à l'augmenter en dorant ces facettes (la culasse) de façon à créer un véritable miroir sur lequel la lumière se réfléchit, avec perte d'intensité, il est vrai. Ces strass *similisés* présentent un autre défaut, qui résulte de la présence de la mince couche dorée ; ils ne peuvent recevoir la lumière que par leurs faces antérieures, seules découvertes, et ils ne peuvent s'éclairer par derrière ; ces deux grandes différences, avec le diamant, se traduisent par un éclat moindre, et des feux moins purs.

Voici quelques valeurs de l'angle limite, calculées sur les indices de réfraction placés en regard :

	Indice.	Angle limite.
Diamant..........................	2,42	24°24′
Cristal de roche....	1,55	40°10′
Strass au thallium (de Lamy)......	1,96	30°36′

Clivage. — Les pierres cristallisées sont des assemblages réguliers des molécules constituantes, et cette régularité se traduit par des propriétés géométriques, dont la principale est la régularité des formes, d'où le cristal tire sa définition. Ordinairement, une substance chimiquement définie cristallise sous plusieurs formes, que l'on peut ramener à une forme type, ce qui permet de classer les cristaux par groupes ayant une même forme type. Les types sont au nombre de sept et définissent des *systèmes cristallins*, dont la considération est nécessaire pour la reconnaissance des formes dérivées, et des propriétés de ces formes. Cette notion est importante à connaître pour l'opération de la taille des gemmes.

Les assemblages moléculaires cristallins possèdent chacun,

en outre de la régularité extérieure, une régularité interne, qui permet de créer des faces accessoires, soit parallèles aux faces extérieures existantes, soit dans certaines directions que font connaître l'étude de la forme type du système dont la pierre fait partie. Ces faces accessoires, créées par le lapidaire, sont des plans de moindre résistance, suivant lesquels le cristal se brise, se fend, quand on le frappe au moyen d'une petite lame aiguë : on nomme ces plans les *plans de clivage*, et la propriété est le *clivage*. Le nombre des faces que l'on peut créer ainsi est très grand, mais ne suffit pas à constituer toutes les facettes exigées pour la taille ; on fera donc des facettes supplémentaires par usure. Les directions de clivage sont nommées par les lapidaires les *fils de la pierre*.

Nous décrirons les opérations du clivage et de la taille du diamant, qui ont servi de modèle à toutes les opérations semblables faites sur les autres gemmes.

Énumération des pierres précieuses. — Le nombre des pierres précieuses est si grand, et les noms qu'elles portent sont si nombreux qu'il est difficile de donner leur liste complète ; voici les principales, rangées par leurs noms usuels :

Le diamant ;

Le cristal de roche ou quartz hyalin, ou caillou du Rhin ;

Les agates comprenant : les quartz-agates dits calcédoine, cornaline, sardoine, saphirine, héliotrope, prase ou chrysoprase, onyx ; le quartz-jaspe, appelé aussi jaspe-agate ou jaspe fleuri ; l'aventurine ;

Les rubis comprenant : le rubis d'Orient (corindon rouge), le rubis spinelle (spinelle rouge), le rubis balais (spinelle rosé), le rubis de Bohême (quartz rose), l'opale (quartz résinite), l'améthyste (quartz violet), l'hydrophane (variété d'opale) ;

Les saphirs comprenant : le saphir oriental (corindon bleu) et le saphir blanc (corindon incolore) ;

Les topazes comprenant : l'*œil du monde* et l'*œil de chat* ou pierre chatoyante (quartz pénétré de filaments d'amiante), la topaze orientale (corindon jaune), la topaze proprement dite ou du Brésil, la topaze de l'Inde (quartz jaune) ;

Les émeraudes comprenant : l'émeraude orientale (corin-

Propriétés des principales gemmes.

Nom.	Composition chimique.	Formule.	Système cristallin.	Dureté.	Densité.	Indice de réfraction.
Diamant...............	Carbone pur.	C	Cubique.	10	3,5 à 3,55	2,42
Quartz.................	Silice.	SiO^2	Rhomboédrique.	7	2,65	1,55
Opales.................	Silice hydratée.	$SiO^2 + 2H^2O$	—	6	2	1,45
Corindon (saphyr) (rubis).	Alumine.	Al^2O^3	Rhomboédrique.	9	3,95	1,76
Rubis spinelle...........	Alumine et magnésie.	Al^2O^3MgO	Cubique.	»	»	1,71
Turquoise..............	Phosphate d'aluminium.	$H^{10}Al^4P^2O^{16}$	—	»	»	»
Topaze.................	Silicofluorure d'aluminium.	$Al^{12}Si^6O^{25}F^{10}$	Orthorhombique.	8	3,55	1,61
Émeraude...............	Silicate d'aluminium et de glucinium.	$Gl^3Al^2Si^6O^{18}$	Hex	7,7	2,7	1,57
Grenats................	Silicate d'aluminium t d'un autre métal.	—	(1)	»	»	»
Tourmaline.............	Silicoborate d'aluminium.	—	Rhomboédrique.	7,2	3	1,63

(1) L'apparence cubique des grenats résulte de l'assemblage par pénétration des macles multiples.

don vert), l'émeraude proprement dite ou du Pérou, le béryl ou *aigue-marine*, le béryl jaune ou *émeraude niellée* ;

La turquoise ;

L'améthyste orientale ;

Les zircons, avec les deux variétés, le jargon et l'hyacinthe ;

Les tourmalines comprenant : la tourmaline verte ou émeraude du Brésil, la tourmaline rouge ou *rubis de Sibérie* ;

Les grenats ;

Puis viennent la *pierre de Soleil* ou *girasol*, le péridot, les chrysolithes, le jade, l'obsidienne (verre de volcans), la lazulite (lapis-lazuli), la malachite, et la lave pour camées.

DIAMANT

Le diamant est du carbone pur cristallisé ; il se présente sous trois états : le *diamant* proprement dit, transparent et doué d'un vif éclat ; le *diamant noir* ou *carbonado*, nommé encore *carbon* ; et le *boort* ou diamant concrétionné.

GISEMENTS

Les diamants proviennent de trois principales contrées : l'Inde, dont les mines sont exploitées depuis l'antiquité, et qui en a fourni exclusivement l'Europe jusqu'à la découverte des mines du Brésil ; le Brésil, qui est exploité depuis le commencement du XVIII[e] siècle (vers 1725) ; enfin le Cap, où les premiers exploitants arrivèrent de 1868 à 1870. On trouve aussi des diamants à Bornéo et en Australie, dans la Nouvelle-Galles du Sud.

Dans toutes ces contrées, les gemmes se rencontrent dans des alluvions, c'est-à-dire dans des terres peu consistantes, provenant de la destruction de roches plus dures, puis d'un entraînement des matériaux détritiques formés ; cet entraînement, qui s'est fait dans les vallées, a produit une séparation mécanique des éléments, laissant à une petite distance les parties lourdes, et plus loin les parties légères. C'est ce triage par les eaux, plusieurs fois répété par des remaniements dus

aux variations des rivières, qui a concentré, en quelque sorte, les gemmes et les minéraux dans les terres dites *diamantifères*, contenant assez souvent de l'or. Un grand intérêt s'attachait à la connaissance de la roche mère, dont proviennent les alluvions, et c'est l'étude de cette roche, prise dans l'Afrique du Sud, qui a permis de prévoir les conditions de formation du diamant; elle a conduit M. Moissan à la reproduction artificielle de cette pierre fine.

Gisements des Indes. — Les gisements de l'Inde, autrefois si riches, sont aujourd'hui peu productifs; ils contiennent le diamant dans des sables ou des graviers d'alluvion. Ces gisements sont groupés en trois districts principaux : celui de Golconde, celui du Bundelcund, et celui situé entre le Godavari et le Mahanadi. Dans les alluvions, on trouve assez souvent l'or, le grenat, le rubis, le saphir, la topaze.

Les diamants de l'Inde sont les plus beaux, et parmi les diamants remarquables qui en proviennent, citons le *Régent* (fig. 35 et 36) et le *Grand Mogol*.

Gisements du Brésil. — Les gisements sont à la fois diamantifères et aurifères; ils sont formés d'alluvions nommées *itacolumites*, que l'on trouve soit sur les plateaux, soit dans les rivières qui y prennent leur source, soit dans des poches formées par le remous des eaux. Les deux provinces qui fournissent le diamant sont celles de Bahia et de Minas-Géraes, où se trouve Diamantina (ancien Toluco). Un gros diamant, l'*Étoile du Sud* (fig. 37 et 38), y fut découvert en 1853.

Gisements du Cap. — Les gisements de l'Afrique australe sont de deux sortes, les *mines de rivière* (*river diggings*) et les *mines sèches* (*dry diggings*), qui sont de véritables cheminées diamantifères creusées à la surface de plateaux de 1000 mètres d'altitude moyenne. Ces derniers gîtes, les plus importants, sont concentrés en quatre principales mines : Bultfontein, Du toit's Pan, Old-de-Beers et Kimberley, toutes situées dans le Griqualand.

Les cheminées diamantifères sont de vastes entonnoirs circulaires ou elliptiques de 200 à 300 mètres de diamètre (celui de Kimberley a 300 mètres de long sur 350 de large), creusés dans le grès, les argiles et les schistes des plateaux.

Dans les cheminées, est une brèche ophitoïde et serpentineuse, qui les remplit comme une boue éruptive; sa surface est jaune (*yellow ground*), peu résistante, mais pauvre en diamants, tandis que sa profondeur est bleue (terre bleue du Cap ou *blue ground*), assez dure pour que l'exploitation au pic soit précédée d'une désagrégation à la mine, mais elle est riche en diamants, boorts, grenats, fer titané, zircon, topazes. L'exploitation, d'abord faite à ciel ouvert, est actuellement dirigée en profondeur, au moyen de puits et de galeries, dont la profondeur est de 200 mètres à Kimberley.

L'*Étoile de l'Afrique du Sud*, qui pesait brut 85 carats (1), provient de la mine de Du Toit's Pan.

Autres gisements. — Quelques diamants ont été trouvés dans les gisements aurifères du Mexique et de la Californie; dans des alluvions à la Nouvelle-Galles du Sud, dans l'Oural. Les îles de la Sonde, Sumatra et Bornéo, fournissent des diamants, et le plus gros diamant connu, pesant 367 carats, vient de Sumatra.

Exploitation des gisements. — Au Brésil, l'exploitation se fait en dérivant les eaux des rivières dont les sables ont été reconnus diamantifères. Les sables sont fouillés et transportés pour subir les opérations du lavage et du débourbage, qui enlèvent les vases et permettent de séparer les grosses pierres. La dernière opération est le lavage à la battée, effectué dans des petits bassins carrés; pour cela, le laveur mouille les sables, et par un mouvement particulier donné à la battée, il laisse doucement couler l'eau, ce qui fait apparaître les diamants à la surface; on les retire, et on continue la recherche de la même façon.

La terre bleue du Cap, exploitée à la mine, puis au pic, est soumise pendant six mois à l'action désagrégeante de l'air et de la pluie, puis elle est lavée dans des sortes de blutoirs, longs cylindres de 60 centimètres de diamètre, dont l'axe est incliné, et dont la paroi est faite d'une toile métallique à mailles de 1 et 2 centimètres. Par la rotation des cylindres,

(1) Le carat vaut en gramme 0,20275, c'est-à-dire un cinquième de gramme.

les cailloux parcourent leur longueur, tandis que les sables diamantifères enrichis tombent par les mailles dans une cuve plate cù ils sont soumis à la centrifugation, au moyen de palettes tournantes. Les diamants, plus lourds, se réunissent surtout à la périphérie de la cuve, et la boue appauvrie reste au centre. On enrichit les matières provenant du lavage dans des tamis secoueurs, sous un courant d'eau, et les sables ainsi répartis par grosseur sont définitivement triés à la main ; ce triage a lieu trois fois.

TAILLE DU DIAMANT

Les diamants naturels ont été pendant longtemps conservés bruts, avec leur forme imparfaite et leur surface dépolie ; le diamant dit *du Roi de Portugal*, qui pèse 120 carats, a encore sa forme octaédrique naturelle. Les difficultés que les lapidaires avaient rencontré en cherchant à entamer le diamant tiennent à sa grande dureté, à laquelle il doit son nom, *indomptable*. Ce n'est que vers la fin du xve siècle (en 1476), que Louis de Berquem, artisan de Bruges, réussit à tailler le diamant avec sa propre poussière ; et aujourd'hui, les tailleries sont nombreuses et prospères, à Amsterdam, à Anvers, aussi à Paris (taillerie Roulina), dans le Jura et dans l'Ain. L'art de tailler le diamant fut importé par les Européens dans l'Inde, et le rajah de Pannah a établi des tailleries dans sa ville.

Les deux principales formes que l'on adopte pour le diamant sont le *brillant*, pour les pierres épaisses, et la *rose*, pour les pierres plates.

Formes naturelles. — Le diamant cristallise dans le système cubique, mais ne se présente que très rarement en cubes parfaits. Les gemmes naturelles ont des formes que l'on dérive du cube, en cristallographie, par des troncatures effectuées sur les arêtes ou les sommets. Si ces troncatures affectent *tous* les éléments semblables, les huits sommets ou les douze arêtes, la forme est *holoédrique* ; si ces troncatures n'affectent que la *moitié* des sommets ou des arêtes, la forme est *hémiédrique*. Les associations de deux ou même trois cristaux se nomment des *macles* ; ainsi, une macle de deux

cristaux est conservée à l'École des mines, et une macle à trois cristaux existe au Muséum d'Histoire naturelle.

Parmi les formes holoédriques les plus fréquentes, signalons l'octaèdre régulier qui dérive du cube par des troncatures affectant également les huit sommets du cube, et le dodécaèdre rhomboïdal, qui dérive du cube par des troncatures affectant les douze arêtes.

Comme particularités, les diamants présentent souvent des arêtes courbes, et sur leurs faces, des stries parallèles et des impressions triangulaires caractéristiques.

Brillant. — Un brillant comprend deux parties (fig. 35 à 39), l'une supérieure formée de la *table*, facette octogonale, et de 32 facettes (8 losanges et 24 triangles) rangées autour de la table et nommées la *couronne*. La partie inférieure ou *culasse* est formée de 24 facettes correspondant à un nombre égal de facettes de la couronne. La forme naturelle qui se prête le mieux à la taille en brillant est l'octaèdre, dont une moitié donne la culasse avec un angle suffisant pour que les rayons lumineux se réfléchissent totalement et sortent en avant de la pierre ; on s'assure aisément de ce résultat en regardant un brillant en arrière ; il paraît noir, sauf en son centre où l'on a créé une facette supplémentaire très petite pour éviter que la culasse soit trop pointue. Les petits brillants sont taillés de la même manière, mais avec un nombre de facettes moindre.

Rose. — Les roses ont une face inférieure plate et un dôme formé de plusieurs faces triangulaires ; la *rose de Hollande* ou d'Amsterdam a 24 facettes, la *rose demi-Hollande* en a 18 ; la *rose de Brabant*, 12 ; et la *rose d'Anvers*, 6.

A ces formes types se rattachent quelques formes moins importantes : le *brillant simple taille*, possédant 13 facettes en dessus et 9 en dessous ; le *demi-brillant*, les *pendeloques*, en forme de demi-poire, etc.

Travail de la taille. — La taille comprend trois opérations, le clivage, le brutage et le polissage.

Le *clivage* se fait ainsi : on fixe le diamant sur un manche de bois au moyen d'un ciment résineux, et on presse sur lui, en frottant, de petites lames de diamants (provenant de clivages antérieurs) elles-mêmes fixées sur des lames de bois ; quand l'entaille

ainsi produite est suffisante, on y place un couteau d'acier, et par un coup sec donné avec le marteau, on fait éclater le diamant.

Le *brutage* doit compléter le nombre des facettes et donner l'ébauche; il se fait en frottant deux diamants enchassés, jusqu'à ce que leur forme soit convenable; les poussières sont reçues dans un égrisoir.

Le *polissage* fait disparaître le rugueux de la pierre. La pierre est sertie au moyen d'un alliage de plomb et d'étain, dans une petite coquille en cuivre munie d'une tige; cette tige peut être fixée dans une pince mobile autour d'un support, de sorte que la pierre peut être orientée à volonté. On fait reposer la pierre sur une roue d'acier horizontale parfaitement plane, et recouverte d'*égrisée* ou poussière de diamant. Quand une face est polie, on déplace le diamant, on le sertit dans une nouvelle position et on polit la face voisine.

Propriétés du diamant. — Les propriétés optiques du diamant ayant été étudiées, il nous reste à signaler ses propriétés chimiques. Les recherches de Lavoisier, de Dumas et Stass ont montré que le diamant est du carbone pur; chauffé, il reste longtemps inaltéré, puis il boursoufle en noircissant, se transforme partiellement en graphite et devient incandescent vers 850 degrés. Sa combustion donne alors du gaz carbonique, en quantité quatre fois égale à son poids et elle ne laisse qu'un résidu insignifiant de cendres ocreuses, dans lequel l'analyse décèle un peu de fer (Moissan). Le diamant est inattaqué par les agents chimiques les plus puissants.

Carbonado et **Boort.** — Le carbonado ou diamant noir est exploité au Brésil, où il se trouve en petites boules irrégulières amorphes, pouvant atteindre la grosseur du poing. Le boort est un diamant concrétionné, translucide, qui accompagne les diamants, sous la proportion de 4 à 6 p. 100 ; il affecte la forme de boules de structure radiée et de cristallisation imparfaite ; il ne se clive pas. Le carbonado et surtout le boort sont plus durs que le diamant.

Emplois des diamants. — Les diamants beaux et suffisamment gros sont utilisés en joaillerie pour constituer des parures ; ils sont taillés, puis montés (sertis) dans une pièce de métal, or ou platine. On sertit à plein métal les roses et

en général les diamants plats; au contraire, on monte les brillants sur griffes, pour qu'ils s'éclairent totalement.

La valeur des diamants taillés est : pour un carat,

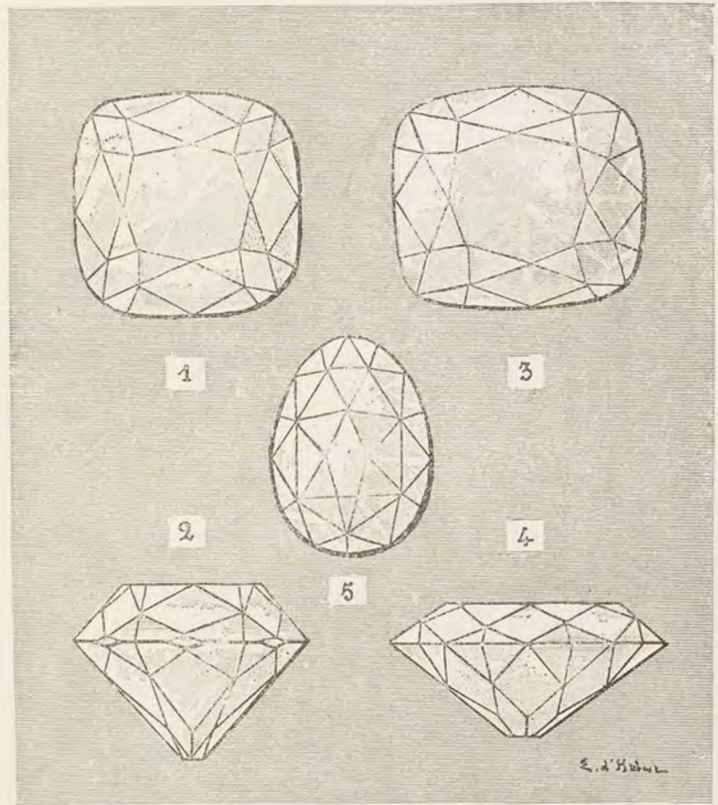


Fig. 35 à 39. — Diamants célèbres.
1 et 2, *Le Régent*; 3 et 4, *l'Étoile du Sud*; 5, le *Sancy*.

450 francs ; pour deux carats, 1 700 francs; pour trois carats, 3 000 francs.

Les diamants bruts, à arêtes courbes et à faces convexes, sont utilisés à l'état brut sous le nom de *diamants vitriers*,

pour couper le verre. Les *diamants de nature*, non clivables, les carbonados et les boorts servent, après pulvérisation, à constituer l'égrisée, pour la taille des autres diamants. On utilise beaucoup le diamant noir pour le forage des roches dures, dans les sondages, les travaux à la mine, etc. ; le travail mécanique des pierres dures, granite, porphyre, marbres, le rhabillage des meules, la gravure sur acier emploient également le diamant noir.

Diamants célèbres. — Quelques diamants, remarquables par leurs dimensions, leur limpidité ou leur couleur, ont été acquis par les souverains et constituent aujourd'hui de véritables trésors. Ce sont :

Nom.	Poids.	Mines d'origine.	Possesseur.	Estimation.
Diamant du rajah de Matan	367 carats.	Indes.	Rajah à Bornéo.	—
Grand-Mogol	280 —	Id.	Disparu.	—
Orlow	193 —	Id.	Russie (sceptre de l'empereur).	2,8 millions.
Grand-duc de Toscane ou Florentin.	139 —	Id.	Couronne d'Autriche.	2,6 —
Régent (fig. 35 et 36).	136 —	Id.	Musée du Louvre.	10 millions.
Étoile du Sud (fig. 37 et 38)	125 —	Brésil.		2 —
Diamant de la couronne (brut)	120 —	Id.	Portugal.	—
Koh-i-Noor (montagne de lumière).	103 —	Indes.	Couronne d'Angleterre à Windsor.	3,5 millions.
Sancy (fig. 39)	53 —	Id.	Maharajah de Guttialah (Indes).	0,6 —
Diamant bleu de Hope	44 —	Brésil.	M. Hope.	0,5 —
Étoile de l'Afrique du Sud	46 —	Cap.	Comtesse Dudley.	
Étoile polaire	40 —		—	
Diamant vert de Dresde	40 —		Couronne de Saxe (broche).	
Diamant rose	15 —		Prince de la Riccia.	
Diamant rouge rubis de Paul Ier	10 —		—	

PIERRES ARTIFICIELLES

La rareté des pierres précieuses naturelles est telle que leur prix a de tout temps été élevé, et que leur possession est restée l'apanage de quelques-uns; aussi, pour satisfaire le désir de la clientèle moins fortunée, la plus nombreuse, les industriels ont-ils recherché les moyens d'obtenir des pierres imitant au mieux les gemmes précieuses. De ces recherches sont nées des *imitations*, c'est-à-dire des pierres ayant quelques-unes des propriétés des pierres fines, l'éclat, la couleur, mais en différant à tous les autres points de vue, par la composition chimique notamment.

D'autre part, des savants, mus, non par un mobile utilitaire, mais par le désir de mieux connaître les procédés d'obtention des produits naturels, ont cherché à obtenir des *reproductions*, c'est-à-dire des pierres de même composition chimique que les pierres fines, sous le même état. Remarquons que cet état identique est toute la difficulté, car le carbone, la silice, l'alumine nous sont chimiquement bien connus, et cependant le diamant, le quartz, le corindon (1) avec toutes leurs variétés ne peuvent être reproduits que depuis peu d'années, et encore sous la forme de pierres aux dimensions exiguës.

Les travaux qui ont donné les reproductions sont, en général, du domaine du laboratoire de recherches, et nous les passerions sous silence si ces travaux n'avaient suscité l'admiration.

REPRODUCTION ARTIFICIELLE DU DIAMANT

L'étude des roches mères du diamant donna lieu à plusieurs hypothèses sur son mode de formation; les uns, avec Gorceix le croient filonien; d'autres, avec Brewster, d'Orbigny, Wöhler, Wilson, Dana, Goeppert, lui assignent une origine végétale; certains, comme Parrot, Favre, Sainte-Claire Deville, Goebel, Leonhardt, Simmler, en font un produit de réactions minérales.

(1) Voy. p. 90, la synthèse des rubis.

Sous l'influence de ces hypothèses des essais de reconstitution sont tentés par Cagniard de la Tour et Gannal (vers 1828), par Despretz, Marsden, et Hanney, mais sans produire des résultats concluants. Ce n'est qu'au début de l'année 1893 que M. H. Moissan parvint, après quatre années d'efforts, à obtenir le diamant en petits cristaux, présentant la transparence, la dureté, les faces courbes, les stries parallèles et les impressions triangulaires, qui caractérisent les diamants naturels. L'origine de cette belle découverte est l'observation minutieuse de la terre bleue du Cap. Voici en quelques mots l'expérience de M. Moissan.

Le carbone se dissout dans les métaux suivants : fer, manganèse, chrome, nickel, or, argent, et dans le silicium. Le fer est plus propre que les autres substances à la formation des solutions chargées de carbone, et si à 1 700 degrés, dans les hauts fourneaux, il en dissout 5 centièmes de son poids, à 3 200 degrés, dans le four électrique spécialement construit par M. Moissan (fig. 40), il en dissout beaucoup plus, 8 centièmes environ.

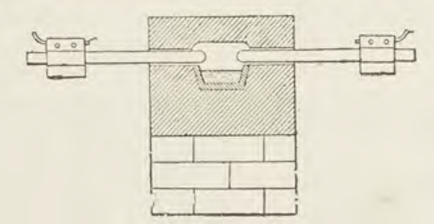


Fig. 40. — Four Moissan.

Une solution de carbone dans le fer donne par refroidissement du carbone cristallisé à l'état de graphite, dont la densité est 2,2 ; mais si la cristallisation a lieu sous une énorme pression, les atomes de carbone se groupent en donnant le diamant, de densité 3,5. Les pressions nécessaires à cet effet sont produites en plongeant le culot de fonte fluide (200 à 300 grammes) dans l'eau froide ; la réaction est violente, elle dégage des gaz, mais elle provoque la solidification de la surface du culot, emprisonnant la partie centrale, encore fluide. Or, la fonte augmente de volume en se solidifiant, et

comme elle ne peut pas le faire, puisqu'elle est emprisonnée, la pression dans le bloc devient énorme ; dans ces circonstances, le carbone cristallise sous forme de diamant.

Le traitement du culot froid est long et pénible ; on dissout par les acides, ce qui donne un résidu noir contenant un peu de graphite, du charbon marron, en lanières très minces et contournées, enfin du carbone dense. Ce dernier est traité par la méthode Berthelot. On détruit le graphite par le chlorate de potassium et l'acide azotique ; et dans le résidu on trouve des diamants noirs, identiques aux carbonados naturels, mêlés à des diamants transparents.

Remarquons que des expériences identiques faites avec l'argent ont donné des diamants noirs de densité variant entre 2, et 3,5 ; tandis que l'addition d'un peu d'or à l'argent laisse des diamants noirs contenant des traces d'or, comme certains carbonados naturels.

Ces résultats semblent donc suffisants pour conclure à la formation des diamants naturels, dans des roches ignées, très chargées en fer et refroidies sous pression. Quant aux diamants obtenus, ils ont au maximum quatre dixièmes de millimètre de diamètre et leurs dimensions microscopiques les laissent inutilisables ; ils ont, en outre, été obtenus au prix de grands efforts et d'une dépense d'énergie qui en font des objets de curiosité et non des objets de commerce.

Diamants de l'acier. — La présence du diamant dans les météorites, qui sont presque exclusivement composées de fer, (météorite de Canon Diablo, étudiée par M. Moissan), et les travaux que nous venons de citer ont fait soupçonner la présence de diamants dans les aciers industriels refroidis brusquement sous pression. Des recherches entreprises par le professeur A. Rossel (de Berne), ont donné les résultats suivants (1896). Dans 50 échantillons examinés, on a trouvé de petits diamants de forme octaédrique, les uns entiers, les autres brisés par le travail mécanique du métal. En particulier, un loup retiré, pendant une réparation, d'un haut fourneau en marche, à Esch-sur-l'Alzette (Luxembourg), a donné un diamant de un demi-millimètre d'épaisseur, le plus gros des diamants artificiels, et nommé l'*Étoile du Luxembourg*.

REPRODUCTION DES AUTRES GEMMES

La fabrication des pierres artificielles était déjà une industrie prospère en Égypte et en Grèce ; elle fut successivement perfectionnée à Venise, au XIII[e] siècle, et à Vienne (par J. Strasser inventeur du strass), à la fin du XVIII[e] siècle. Actuellement, toutes les pierres fines, sauf l'opale, ont été parfaitement imitées.

En fondant au chalumeau une poudre d'alumine et d'oxyde de chrome, M. Verneuil a fabriqué des rubis, pesant 6 à 7 carats, et utilisables en joaillerie (1902).

Strass. — Le strass à lui seul constitue les imitations du diamant, et coloré, il est la base des imitations des autres gemmes. Toutes ces imitations sont par suite nommées *pierres de strass.*

Le strass est un verre, ou plutôt un cristal, plus riche en oxyde de plomb que le cristal et le flint-glass; il contient, outre la silice, de l'acide borique, et dans sa composition, on ajoute du bismuth et du thallium (Lamy). Par ce moyen on obtient des verres très réfringents, mais aussi très lourds, et leur dureté bien inférieure à celle des gemmes s'ajoute à ces différences pour permettre la différenciation des pierres imitées et des pierres vraies.

Le strass seul, incolore, imite assez bien le diamant, et on peut ajouter à ses feux par des artifices de taille, ou en similisant, par dorure de la culasse (Voy. p. 76).

Pierres colorées. — Les pierres colorées sont à base de strass, et contiennent des oxydes colorants. Voici, à titre d'exemple, quelques compositions employées :

Améthyste........	Strass incolore..............	100
	Oxyde de cobalt...........	25
Émeraude...... ..	Strass incolore..............	100
	Oxyde de cuivre............	8
	Oxyde de chrome...........	0,2
Rubis............	Strass incolore....	1000
	Verre d'antimoine.........	40
	Pourpre de Cassius..........	1
	Or........................	Traces.
Topaze....	Strass incolore.............	1000
	Verre d'antimoine..........	40
	Pourpre de Cassius.........	1

Saphir........	Strass incolore....	109
	Oxyde de cobalt............	1,5
Aigue-marine ..	Strass incolore..............	1000
	Verre d'antimoine........ ..	7
	Oxyde de cobalt.......... ..	0,4
Grenat....	Strass incolore............	1000
	Verre d'antimoine......... .	500
	Pourpre de Cassius.... ..	4
	Oxyde de manganèse........	4

Le travail de ces strass se fait en débitant, avec un marteau tranchant, les blocs de verre, en ramollissant les fragments sur une tôle, le *fondoir*, placée dans un moufle. Quand le verre est ramolli, ses angles s'émoussent, et après refroidissement, on le fixe à l'extrémité de manches en bois, permettant de les appuyer sur la roue du lapidaire. Les roues employées sont en cuivre, en plomb, ou en bois, tandis que la matière interposée est l'émeri, puis la ponce et la potée.

Les données statistiques relatives aux pierres précieuses ont été réunies à celles des verres et cristaux, pages 65 et suivantes.

CARBORUNDUM

Le *carborundum* est un carbure de silicium cristallisé, préparé en 1891 par M. Atcheson, de Monongahrta (Pensylvanie, U. S. A.), qui cherchait à reproduire le diamant au four électrique.

Préparation. — Le four actuellement employé aux usines est construit en briques, sans lien, et affecte la forme d'une caisse de dimensions : $6^m,7 \times 2^m,2 \times 1^m,7$. Les extrémités, épaisses de $0^m,6$, sont traversées par les électrodes, de chacune 36 charbons ; les têtes des charbons, disposées dans un carré en fer, reçoivent le courant par quatre barres de cuivre. On emplit le four, au fur et à mesure de sa construction, d'un mélange de 60 parties de sable de grès pur (à 99 p. 100 de silice), de 40 p. 100 de coke, de sel marin et de sciure de bois, la sciure de bois, en se consumant, donne de la porosité au mélange. Dans l'axe du four, entre les charbons électrodes, on dispose une mèche de grains de coke ; et on recouvre le tout du mélange précédent, en achevant le four.

Le courant, fourni par la *Niagara Falls Power Company*, est

amené à 180 volts; au bout d'une heure, des vapeurs d'oxyde de carbone se dégagent des joints du four, qui s'enveloppe de flammes; la température est maintenue (vers 3 500 degrés), pendant trente-six heures.

Après refroidissement, on démolit le four, et on trouve : une croûte externe non modifiée, puis une croûte de carborundum amorphe, entourant un bloc central. Ce bloc est formé d'une âme, la mèche de coke entourée de carborundum cristallisé : la production d'un four est de 1800 kilos environ.

Les blocs cristallins sont broyés, traités par l'acide sulfurique dilué, pendant trois jours, pour enlever le fer et les impuretés. On procède ensuite au lavage et au triage par grosseur, sur des tamis.

Propriétés. — Le carborundum pur donne des cristaux incolores, contenant 30 p. 100 de carbone et 70 p. 100 de silicium ; sa formule chimique est SiC. Sa densité est 3,12; sa dureté (9,5) le place entre le corindon et le diamant, dans l'échelle de Mohs. Le carborundum industriel est impur, et ses cristaux, du système rhomboédrique, sont colorés de superbes irisations, où dominent le vert, le bleu et le noir. Ces cristaux se brisent en conservant des arêtes vives et coupantes; ils ne peuvent pas être clivés.

Emplois. — Le carborundum est utilisé en Amérique pour le polissage du diamant et des pierres précieuses. On l'agrège en meules au moyen de kaolin et de feldspath, et la compression de ces meules dans des moules est suivie d'une vitrification dans un four à porcelaine. Comme à poids égal il polit une surface huit fois égale à celle que polit l'émeri, et cela en deux fois moins de temps, on peut l'employer dans les industries qui nécessitent des matières polissantes très actives; par exemple dans l'industrie du verre, de la céramique, pour le dressage et le polissage des surfaces. On confectionne avec le carborundum un papier analogue au papier d'émeri.

Corubis. — Le *corubis*, ou *corindon*, est un produit secondaire de la préparation du chrome par le procédé Goldschmidt; il est plus dur que l'émeri naturel et est employé à la fabrication des meules.

TABLE DES MATIÈRES

6984-03. — Corbeil. Imprimerie Éd. Crété.

Traité d'Électricité Industrielle

Par R. BUSQUET
Professeur à l'École industrielle de Lyon

1900, 2 vol. in-16 de 1 032 pages, illustrés de 562 fig., cart. 12 fr.

Les ouvrages techniques sur l'électricité ne manquent pas, mais ils s'adressent, en général, à des personnes ayant des connaissances mathématiques relativement élevées, ou possédant des notions étendues sur la science électrique.

Il n'existait pas encore un véritable livre d'initiation, qui permît à tout homme intelligent et désireux de s'instruire, d'aborder directement les questions d'électricité industrielle, sans avoir fait, au préalable, des études spéciales. C'est cette lacune que M. Busquet s'est proposé de combler en exposant simplement et sans le secours des hautes mathématiques, les phénomènes électriques et les lois qui les régissent, sans rien sacrifier toutefois des principes exacts qui servent de base à l'électricité industrielle.

Toutefois, s'il exclut de son exposé les théories mathématiques transcendantes, il ne prétend pas supprimer ni négliger les résultats numériques et les calculs simples qui permettent de les établir, dans le domaine de la pratique; seulement, il les met à part, de manière à dégager entièrement l'enseignement théorique de toute complication de chiffres ou d'opérations, et il ne met d'ailleurs à contribution dans ces calculs que les opérations ordinaires de l'arithmétique ou de la géométrie.

De là, deux parties bien distinctes dans l'ouvrage : l'une, constituant l'exposé théorique de l'électricité industrielle, s'adresse à tous ceux qui veulent simplement s'initier à l'étude de cette science, se familiariser avec ses multiples applications; l'autre, imprimée en petits caractères, contient les formules simples et les applications numériques, que tout praticien est appelé à connaître et à utiliser.

Voici un aperçu des matières traitées :

I. *Notions primordiales. — Le courant électrique. — Magnétisme. — Aimantation et Induction. — Induction électro-magnétique. — Les Dynamos. — Les Dynamos à courant continu. — Fonctionnement des Dynamos. — Description des divers types de dynamos à courant continu. — Les courants alternatifs. — Dynamos à courants alternatifs. — Divers types d'alternateurs.*

II. *Distribution des courants électriques. — Transmission électrique de l'énergie. Moteurs. — Applications mécaniques de l'énergie électrique. — Éclairage électrique. — Électrochimie. — Canalisations. Appareils de mesure. Conduite des dynamos. — Télégraphie et Téléphonie.*

Ce nouveau traité donnera donc pleine satisfaction aux nombreuses personnes qui, sans appartenir au monde technique ou scientifique, ont le légitime désir de se mettre au courant de l'électricité moderne; de même qu'il rendra de réels services aux électriciens amateurs ou professionnels, qui trouveront dans la partie spéciale tous les renseignements techniques et pratiques dont ils auront besoin dans les applications de l'énergie électrique.

4879-02. — CORBEIL. Imprimerie ÉD. CRÉTÉ

